

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 8 - 3 2 0 4 1 9

(43) 公開日 平成8年(1996)12月3日

(51) Int. Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 B	6/10		G 0 2 B	6/10 C
C 0 3 B	37/018		C 0 3 B	37/018 C
G 0 2 B	6/00	3 5 6	G 0 2 B	6/00 3 5 6 A
	6/18			6/18
	6/22			6/22
審査請求 未請求 請求項の数 3 0			F D	(全 2 5 頁)

(21) 出願番号 特願平 8 - 1 1 4 3 3 2

(22) 出願日 平成8年(1996)4月12日

(31) 優先権主張番号 4 2 3 6 5 6

(32) 優先日 1 9 9 5 年 4 月 1 3 日

(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(31) 優先権主張番号 5 8 4 8 6 8 → US P 5,848,537

(32) 優先日 1 9 9 6 年 1 月 1 1 日

(33) 優先権主張国 米国 (U S)

(71) 出願人 390037903

コーニング インコーポレイテッド

CORNING INCORPORATE
D

アメリカ合衆国 ニューヨーク州 コーニ
ング (番地なし)

(72) 発明者 ジョージ エドワード パーキー

アメリカ合衆国 ニューヨーク州 14871、パ
イン シティ、ライリー ヒル ロード
11551

(74) 代理人 弁理士 山元 俊仁

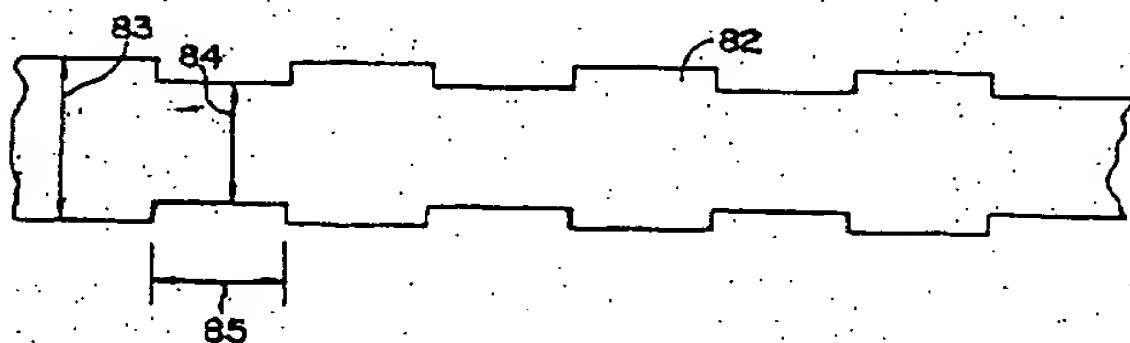
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 分散管理シングルモード光導波通路ファイバおよびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 4光子混合によるパワー・ペナルティを制限するように設計されたシングルモード光導波路ファイバおよびその導波路を製造する方法を提供すること。

【解決手段】 導波路ファイバのコアの例えば半径あるいは屈折率のような特性の変化が導波路の長さに沿って変化する全分散を与える。長さ全分散の積の代数和はシステム・リンクを構成する各導波路ファイバに対する予め選択された値にコントロールされる。全分散の変化の大きさと小長部分を適切に選択すると、ゼロに近い全分散を有する導波路部分において短い距離だけ信号が進行するシステム・リンクが得られる。しかし、全分散の変化は、予め選択された波長範囲における信号に対して予め選択された分散効果を生ずるシステム・リンクを与える。信号に対する分散効果は本質的にゼロとなるように選択され得る。DMファイバを製造するための多数の技術も開示されている。



文献No. B-1

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 分散管理シングルモード光導波通路ファイバであって、

屈折率プロファイルを有するコアガラス領域と、このコアガラス領域を包囲しており、前記コアガラス領域の屈折率プロファイルの少なくとも一部分より低い屈折率 n_c を有するクラッドガラス層を具備しており、

前記導波路はそれの長さに沿って符号が正から負におよび負から正に変化する可変全分散を有しており、

前記導波路の小長さ部分 l_i がそれぞれ関連した本質的に一定の全分散 D_i を有するセグメント dl_i で構成されており、この場合、 D_i は予め選択された符号の値の第 1 の範囲内にあり、かつ l_i は積 $D_i dl_i$ の和で特徴づけられ、

前記導波路の小長さ部分 l_j がそれぞれ関連した本質的に一定の全分散 D_j を有するセグメント dl_j で構成されており、この場合、 D_j は D_i の符号とは反対の符号の値の第 2 の範囲内にあり、かつ l_j は積 $D_j dl_j$ の和で特徴づけられ、

分散値の第 1 の範囲内の値から分散値の第 2 の範囲内の値まで全分散が変化する遷移小長さ部分 l_k が設けられており、

すべての l_i 、すべての l_j 、およびすべての l_k 小長さ部分の和が導波路ファイバ長に等しく、

すべての積 $D_i dl_i$ および $D_j dl_j$ の代数和が予め定められた波長範囲 R にわたって予め選択された値よりも小さいことを特徴とする分散管理シングルモード光導波通路ファイバ。

【請求項 2】 請求項 1 のシングルモード導波路ファイバにおいて、前記全分散 D_i および D_j がそれぞれ約 0.5~20ps/nm-km の範囲内の大きさを有しており、予め定められた波長範囲 R は約 1525nm~1565nm であり、かつ積の代数和の予め定められた値は本質的にゼロである前記導波路ファイバ。

【請求項 3】 請求項 1 のシングルモード導波路ファイバにおいて、前記小長さ部分 l_i および l_j がそれぞれ約 0.1km より大きい前記導波路ファイバ。

【請求項 4】 請求項 3 のシングルモード導波路ファイバにおいて、前記遷移長部分 l_k のうちの任意の 1 つが、全分散の大きさが約 0.5ps/nm-km より小さい約 500メートル以下の小長さ部分 l_k を有しており、それによって前記小長さ部分における 4 光子混合によるパワー・ペナルティを実質的に最小限に抑える前記導波路ファイバ。

【請求項 5】 請求項 4 のシングルモード導波路ファイバにおいて、前記コア領域が前記導波路ファイバのセンターラインと前記コア領域および前記クラッド層との間の距離として定義される半径を有しており、

前記セグメント dl_i は第 1 の予め定められた範囲内の半径 r_i を有しており、

前記セグメント dl_j は第 2 の予め定められた範囲内の半径 r_j を有しており、

前記遷移長部分は第 1 の予め定められた範囲内の値 r_i から第 2 の予め定められた範囲内の値 r_j まで変化する半径を有しており、各 r_i は約 5%~25% の範囲内の大きさだけ各 r_j とは異なっている前記導波路ファイバ。

【請求項 6】 請求項 4 のシングルモード導波路ファイバにおいて、

前記セグメント dl_i は、屈折率値の第 1 の予め定められた範囲内の最大屈折率 n_i を特徴とする光誘導領域を有しており、

前記セグメント dl_j は最大屈折率 n_j を特徴とする光誘導領域を有しており、

各 n_i と各 n_j との差が少なくとも約 5×10^{-6} である前記導波路ファイバ。

【請求項 7】 請求項 6 のシングルモード導波路ファイバにおいて、各 n_i と各 n_j との差が少なくとも約 5×10^{-3} である前記導波路ファイバ。

【請求項 8】 請求項 1 のシングルモード導波路ファイバにおいて、前記コアガラス領域が、第 1 の屈折率プロファイルを有する中央部分と、第 2 の屈折率プロファイルを有し、前記中央部分に隣接した少なくとも 1 つの環状部分を具備している前記導波路ファイバ。

【請求項 9】 請求項 8 のシングルモード導波路ファイバにおいて、前記第 1 の屈折率プロファイルがアルファ・プロファイルである前記導波路ファイバ。

【請求項 10】 請求項 8 のシングルモード導波路ファイバにおいて、前記第 1 の屈折率プロファイルが一定でありかつ n_c に実質的に等しく、そして前記隣接したプロファイルが丸みをおびたステップインデックス形状と、最大屈折率 $n_i > n_c$ を有している前記導波路ファイバ。

【請求項 11】 請求項 10 のシングルモード導波路ファイバにおいて、前記隣接したプロファイルが内部半径 a_i および外部半径 a を有する環状部分であり、前記半径は前記導波路ファイバのセンターラインからそれぞれ前記環状部分の内縁および外縁まで測定されたものであり、かつ a_i/a が約 0.5 であり、そして前記丸みをおびたステップインデックスの最大%屈折率デルタが約 1.0% である前記導波路ファイバ。

【請求項 12】 分散管理シングルモード光導波路ファイバであって、

屈折率プロファイルを有するコアガラス領域と、このコアガラス領域を包囲しており、前記コアガラス領域の屈折率プロファイルの少なくとも一部分より低い屈折率 n_c を有するクラッドガラス層を具備しており、

半径 r が導波路ファイバのセンターラインから前記コアガラス領域と前記クラッドガラス領域との境界面までの距離であり、

前記導波路ファイバは多数の小長さ部分 l_i よりなる長さを有しており、 l_i は第 1 の予め選択された値の範囲内にある関連した本質的に一定の分散 D_i をそれぞれ有するセグメント dl_i で構成されており、

多数の小長さ部分 l_i が設けられており、 l_i は第2の予め選択された値の範囲内にある関連した本質的に一定の全分散 D_i をそれぞれ有するセグメント dl_i で構成されており、

l_i および l_j の各一連の対間に遷移小長さ部分が設けられており、

セグメント dl_i はそれぞれ第1の波長範囲内のゼロ分散波長を有しており、

セグメント dl_j はそれぞれ第2の波長範囲内のゼロ分散波長を有しており、

前記第1および第2の波長範囲が分離しており、

前記第2の波長範囲が前記第1の波長範囲より低く、

$dl_i + D_i$ と $dl_j + D_j$ の代数和が予め定められた波長範囲Rにおける予め定められた値に等しくなされている分散管理シングルモード光導波路ファイバ。

【請求項13】 請求項12のシングルモード光導波路において、前記第1の波長範囲が約1565~1680nmであり、そして前記第2の波長範囲が約1480~1525nmであり、かつ/または前記第1の波長範囲が約1565~1680nmでありかつ前記第2の波長範囲が約1480~1525nmある、前記セグメント dl_i および dl_j のうちの任意のものの全分散の大きさが前記第1の範囲の下限と前記第2の範囲の上限との間にある動作波長範囲において約0.5ps/nm-kmより大きい、前記動作範囲が約1525nm~1565nmであるという特徴のうちの少なくとも1つを有している前記光導波路。

【請求項14】 分散管理シングルモード光導波路ファイバを製造する方法であって、

所定の長さを有するコア・プリフォームを準備し、前記コア・プリフォームの少なくとも1つの予め定められた小長さ部分が比較的大きい直径を有し、かつ前記コア・プリフォームの少なくとも1つの予め定められた小長さ部分が前記比較的大きい直径より小さい直径を有しており、

前記コア・プリフォームにオーバークラッドを設けて実質的に円筒状の形状を有する延伸母材を形成し、

前記コア・プリフォームを延伸して実質的に均一な外径を有する導波路ファイバとなして、小径の少なくとも1つのコア・プリフォーム小長さ部分に対応した減寸されたコア直径の少なくとも1つの小長さ部分 l_i を有する導波路ファイバを作成し、この導波路ファイバの残部が前記減寸されたコア直径より大きいコア直径の少なくとも1つの小長さ部分 l_j よりなり、

前記少なくとも1つの減寸されたコア直径の小長さ部分が関連した全分散積 $dl_i + D_i$ を有するセグメント dl_i で構成され、かつ前記直径を減寸されていない小長さ部分は関連した全分散積 $dl_j + D_j$ を有するセグメント dl_j で構成されており、

積 $dl_i + D_i$ および $dl_j + D_j$ の代数和が予め定められた波長範囲Rにおける予め選択された値に等しくする分散管理シ

ングルモード光導波路ファイバを製造する方法。

【請求項15】 請求項14の方法において、前記コア・プリフォームを準備する工程は全体的にコアガラスよりなるプリフォームを準備することよりなり、あるいは前記コア・プリフォームを準備する工程はクラッドガラスの層によって包囲された中央のコア領域を有するプリフォームを準備することよりなる前記方法。

【請求項16】 請求項14の方法において、

オーバークラッドを設ける工程は前記コア・プリフォームの表面上にガラス粒子を沈積させ、そして前記粒子を焼結して稠密で透明なガラスクラッドを形成することよりなり、

前記焼結する工程は前記コア・プリフォームの比較的大径の部分における所定の直径と、前記コア・プリフォームの小径の部分における前記所定の直径より小さい直径を有するガラスクラッドを必要に応じて形成し、前記方法は実質的に一定の直径のクラッド層を有する延伸母材を形成するために前記コア・プリフォームの比較的大径の部分を包囲した前記クラッドガラスの部分の直径を減少させる工程をさらに含んでいる前記方法。

【請求項17】 請求項14の方法において、ガラス粒子を沈積させる工程が、前記コア・プリフォームの小径領域よりも大きい変化する直径を有するガラス粒子の層を沈積させることよりなり、前記ガラス粒子層の直径は、前記焼結工程の後で、このようにして得られた延伸母材のクラッド層の直径が実質的に一定であるようになされる前記方法。

【請求項18】 請求項14の方法において、前記コア・プリフォームを準備する工程がコア・プリフォームの少なくとも1つの部分を加熱し、そしてその加熱された領域の直径を変化させる工程を含み、そして前記加熱する工程が必要に応じて前記少なくとも1つの領域を加熱するために前記少なくとも1つの領域に炎を送りかつ前記少なくとも1つの領域に隣接した前記コア・プリフォームの部分を冷却し、または前記少なくとも1つの領域にバーナからの炎を送り、その炎の一部分が少なくとも1つのバッフルによって偏向されることよりなる前記方法。

【請求項19】 請求項18の方法において、前記加熱される領域の直径を変化させる工程は、前記加熱される領域の直径を増大させるために、前記加熱される領域に隣接したコア・プリフォームの領域を前記加熱される領域に向う方向に移動されること、あるいは前記加熱される領域の直径を減少させるために、前記加熱される領域に隣接したコア・プリフォームの領域を前記加熱される領域に離れる方法に移動されることよりなる前記方法。

【請求項20】 請求項19の方法において、前記冷却する工程が前記加熱される領域の両側におけるプリフォームの領域に隣接した領域に冷媒ガスを送ることよりなる前記方法。

【請求項 2 1】 請求項 2 0 の方法において、前記加熱する工程が、延焼ガスが放出されるオリフィスを有するバーナを設け、前記燃焼ガスを反応させて前記炎を生じさせ、前記燃焼ガス・オリフィスに隣接した前記バーナのオリフィスから前記冷媒ガスを放出させ、前記少なくとも 1 つの領域に前記バーナからの炎を送り、前記バーナから離れたオリフィスから前記冷媒ガスを出すようにすることによりなり、あるいは前記冷媒ガスが前記バーナから離れたオリフィスから出るようにし、前記バーナ前記コア・プリフォームの長手方向の軸線に対して第 1 の方位方向の位置に配置し、かつ前記第 1 の方位方向の位置とは異なる方位方向の位置から出て来るようにする前記方法。

【請求項 2 2】 請求項 1 8 の方法において、前記加熱する工程は、加熱されるべきコア・プリフォームの領域の両側においてコア・プリフォームのまわりに熱伝導スリーブ配置、そして前記スリーブの間に配置された前記コア・プリフォームの領域を加熱することによりなり、前記加熱する工程は必要に応じてレーザー光のビームを前記少なくとも 1 つの領域に照射することを含み、さらに必要に応じて、前記少なくとも 1 つの領域に照射されるレーザー光のパワーと存続期間が、前記領域を軟化させるのに十分であるようにし、前記レーザー光のパワーと存続期間が必要に応じて前記領域から材料を除去するのに十分であるようにする前記方法。

【請求項 2 3】 請求項 1 8 の方法において、前記加熱する工程に先立って、加熱されるべき前記コア・プリフォームの任意の領域の直径が、前記プリフォームの表面から材料を除去することによって減少され、この除去する工程は必要に応じて研削、エッチングおよびレーザー・アブレーションから選択された方法で行なわれる前記方法。

【請求項 2 4】 請求項 1 4 の方法において、前記コア・プリフォームを準備する工程は、一定の外径を有する予備のコア・プリフォームを形成し、前記予備のコア・プリフォームをその予め定められた部分を加熱して軟化させるために延伸用炉のホットゾーン内に送り込み、そして前記コア・プリフォームを伸張させてその直径を減少させるために前記コア・プリフォームの軟化された部分を引張り、あるいは前記小径の小長さ部分を形成するために第 1 の速度で前記予備のコア・プリフォームの軟化された部分を引張り、かつ前記小径の小長さ部分より大きい直径の小長さ部分を形成するために前記第 1 の速度より低い速度で前記予備のコア・プリフォームの軟化された部分を引張ることによりなる前記方法。

【請求項 2 5】 分散管理シングルモード光導波路ファイを製造する方法であって、所定の長さの延伸母材を形成し、前記延伸母材の少なくとも 1 つの予め選択された小長さ部分が比較的大きい直径を有し、かつ前記延伸母材の少なくとも 1 つの予め選

択された小長さ部分が前記比較的大きい直径より小さい直径を有し、

前記延伸母材を延伸して実質的に均一な外径を有する導波路ファイバとなし、比較的大きい直径の前記少なくとも 1 つの小長さ部分に対応した減少されたコア直径の少なくとも 1 つの小長さ部分 l_i を有する導波路ファイバを作成し、導波路ファイバの残部は前記減少されたコア直径より大きいコア直径の少なくとも 1 つの小長さ部分 l_j よりなり、

10 前記少なくとも 1 つの減少されたコア直径の小長さ部分は関連する全分散積 $dl_i \cdot D_i$ を有するセグメント dl_i で構成され、そして前記減少されていない直径の小長さ部分は関連した全分散積 $dl_j \cdot D_j$ を有するセグメント dl_j で構成され、

積 $dl_i \cdot D_i$ および $dl_j \cdot D_j$ の和が予め定められた波長範囲 R における予め選択された値に等しい散管理シングルモード光導波路ファイを製造する方法。

【請求項 2 6】 請求項 2 5 の方法において、前記延伸母材を形成する工程は、均一なコア直径および均一なクラッド直径を有する予備コア・プリフォームを形成し、そして必要に応じて酸エッチングおよび研磨、研削および研磨、レーザー加工、ならびに加熱および伸張よりなるグループから選択された技法によってクラッドの表面から材料を除去することによって前記予備コア・プリフォームの少なくとも 1 つの小長さ部分の直径を減少させることによりなる前記方法。

【請求項 2 7】 請求項 2 5 の方法において、延伸母材を形成する工程は、均一な直径の予備延伸母材を形成し、そして前記予備延伸母材上に少なくとも 1 つのクラッドガラス・スリーブを適用し、あるいは均一な直径のカオ・プリフォームを形成し、少なくとも 1 つの小径部分と少なくとも 1 つの大径部分を有する周期的な形状のクラッドガラス・スリーブを形成し、そして前記コア・プリフォームを前記スリーブに挿入し、あるいは均一な直径のコア・プリフォームを形成し、均一な直径のクラッドガラス・スリーブを形成し、スリーブの少なくとも 1 つの領域の直径を減少させて周期的な形状のクラッドガラス・スリーブを形成し、前記コア・プリフォームを前記周期的形状のスリーブに挿入し、あるいはクラッドガラスで包囲されたコア領域を有する均一な直径のコア・プリフォームを形成し、クラッドガラスの表面に沿って離間された環状のスロットを形成し、前記コア・プリフォームをクラッドガラス粒子で被覆し、前記クラッドガラス粒子を焼結して稠密なクラッドガラス層を有する延伸母材を形成し、前記スロットの長さが 2mm より小さく、前記延伸母材のクラッドが前記スロットの間の領域において比較的大きい直径を有するのに十分なだけスロット間における粒子堆積の密度に比較して前記スロット内の粒子堆積の密度が低くなるに十分なだけ短くなされ、前記クラッドの残部は小径を有する前記方法。

【請求項 28】 分散管理シングルモード光導波路ファイバを製造する方法であって、

所定の直径と所定の長さを有する円筒状のコア・プリフォームを準備し、

前記コア・プリフォームにオーバークラッドを設けて均一な円筒状の形状を有する延伸母材を形成し、

少なくとも 1 つの予め選択された小長さ部分において前記延伸母材の直径を減少させ、

前記延伸母材を延伸して、均一な直径を有し、かつ前記延伸母材の減少された直径の小長さ部分に対応した減少されたコア直径の小長さ部分を有する導波路ファイバをなし、

前記少なくとも 1 つの減少されたコア直径の導波路小長さ部分 l_i は関連する積 $d_{li} \cdot D_i$ を有するセグメント d_{li} で構成され、そしてコア直径を減少されていない導波路小長さ部分 l_j は関連する積 $d_{lj} \cdot D_j$ を有するセグメント d_{lj} で構成され、

積 $d_{li} \cdot D_i$ および $d_{lj} \cdot D_j$ の代数和が予め定められた範囲 R における予め選択された値に等しい分散管理シングルモード光導波路ファイバを製造する方法。

【請求項 29】 分散管理シングルモード光導波路ファイバを製造する方法であって、

実質的に円筒状のコア部分と、このコア部分を包囲しており、実質的に円筒状の外表面を有するクラッド層を有する延伸母材を準備し、

導波路ファイバ延伸装置を用いて前記延伸母材から導波路ファイバを延伸し、この場合、前記装置は炉と、その炉から離間されていて、前記導波路ファイバにポリマー被覆を添着させる手段を含んでおり、

前記導波路ファイバが前記炉から出た後でかつ前記導波路ファイバがポリマー被覆を受取る前に、予め選択されかつ離間された長手方向のセグメント l_r において前記導波路ファイバに放射線を照射し、この場合、 l_r は本質的に一定の全分散 D_r を有するセグメント d_{lr} で構成され、 l_s は照射されない導波路ファイバの長さであり、 l_s が本質的に一定の全分散 D_s を有するセグメント d_{ls} で構成され、

積 $d_{lr} \cdot D_r$ および $d_{ls} \cdot D_s$ の代数和が予め定められた波長範囲 R における予め選択された値に等しい分散管理シングルモード光導波路ファイバを製造する方法。

【請求項 30】 請求項 29 の方法において、前記放射線はガンマ線、x 線、ベータ粒子、アルファ粒子、中性子放射線、および紫外線よりなるグループから選択され、必要に応じて約 10~20 ナノ秒の範囲内の持続期間のパルスとして送られる約 100 mJ/cm² のエネルギー・フラックスを特徴とし、少なくとも 1 つのパルスが前記各長手方向のセグメントに送られる前記方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は分散管理 (dispersion m

anaged) (DM) シングルモード光導波路ファイバおよびそのファイバを製造する方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 通信ネットワークにハイパワー・レーザ、光増幅器、多チャンネル通信、そしてより高いビット伝送速度が導入されて、非直線導波路効果に基因する信号劣化を最小限に抑えることができる導波路ファイバ設計が開発されるにいたった。

【0003】 特に関心が高いのは、4 光子混合を実質的に排除することができる導波路設計である。再生器間に長い間隔を有するシステムに要求される特性を維持しながら 4 光子混合を排除しようとする導波路の設計にジレンマが生ずる。すなわち、4 光子混合を実質的に除去するためには、4 光子混合は導波路分散が小さい場合、すなわち約 0.5 ps/nm-km より小さい場合に生ずるから、導波路ファイバは全分散のゼロ近傍では動作されてはならない。他方、その導波路全分散のゼロから離れた波長を有する信号は、その全分散の存在によって劣化される。

【0004】 このジレンマを克服するために提案された 1 つの対応策は、そのうちの幾つかが正の全分散を有しかつ幾つかが負の全分散を有しているケーブル化された導波路ファイバを用いてシステムを構成することである。すべてのケーブル・セグメントにおける分散の長さ重みつき平均 (length weighted average) がゼロに近い場合には、再生器間隔が大きくなる。しかし、信号は分散がゼロに近い導波路長を通過することは本質的にないから、4 光子混合が防止される。

【0005】 この対応策の問題点は、再生器間の各リンクが所要の長さ重みつき平均を与えるように調整されなければならない点である。ケーブル作製工場から設置場所までケーブルの分散の同一性を維持するということは、望ましくない余分な仕事であるとともに誤差のもととなる。さらに、適切な分散だけでなく、その分散を有するケーブルの適切な長さをも与える必要があるため、製作の困難が増大するとともに、システム・コストの増大につながることになる。交換用のケーブルの必要性を考える時に他の問題が生ずる。

【0006】

【本発明が解決しようとする課題】 本発明は、個々のファイバをそれぞれ内蔵の分散管理システム (self contained dispersion managed system) とすることによって、これらの問題を解決する。全分散の予め選択された長さ重みつき平均、すなわち全分散積が各導波路ファイバに入れ込まれるようになされる。このようにして、ケーブル化された導波路ファイバがすべて本質的に同一の分散積特性を有しており、システムの特定の部分に特定の組のケーブルを割当てする必要がない。

【0007】 4 光子混合によるパワー・ペナルティ (power penalty) が本質的に排除されるか、あるいは予め

選択されたレベルまで軽減され、他方、全リンク分散は、実質的にゼロに等しい値でありうる予め選択された値に保持される。

【0008】定義

— 「分散」はパルス広がり (pulse broadening) であり、ps/nm-kmで表わされる。

— 「分散積」は分散と長さを掛け算したものであり、ps/nmで表わされる。

— 「位相不整合」は、4光子混合を介して相互作用しうる異なる中心波長を有する相互作用波間の位相差である。

— 「周期」は正の分散を有する小長さ部分と、負の分散を有する小長さ部分と、分散が正の分散値から負の分散値に変化する遷移長さ部分を含んだ導波路ファイバ長である。

— 「振動長」は1つの周期の正または負の分散小長さ部分である。振動長に関連した符号が存在しない場合には、正の振動長と負の振動長は等しいとみなされる。

【0009】位相不整合は分散積に比例する。また、累積位相不整合は分散積の和に比例する。したがって、図6および7では、示されたパワー・ペナルティの統一原理は、信号間の累積位相不整合が変化するにつれてパワー・ペナルティのそれぞれが変化するようになされている。位相不整合が大きくなるにつれて、パワー・ペナルティは減少する。

【0010】したがって、図6および7は、位相不整合と全分散および振動長との関係を示しているものと看做すことによって最も良く理解されうる。言換えると、図6および7は、位相不整合が個別の測定可能な導波路ファイバ特性、すなわち全分散および振動長で表わされた場合におけるパワー・ペナルティの位相不整合に対する依存性を示している。

【0011】— 「信号間隔」は導波路ファイバにおける隣接した多重化信号の周波数間隔として表わされる。例えばこの明細書に記載されたシステムでは、信号間隔は200GHzである。

【0012】本発明はシステム・リンク要件を満足する予め選定された値に全分散積がコントロールされる導波路ファイバ長の必要性を満たすものである。各導波路ファイバは、そのシステム・リンクのために設計された他のいかなる導波路ファイバとも互換可能である。したがって、1つのリンクでは、ケーブル長および全ケーブル分散についての特別の構成は、リンク要件を満足するためには必要とされない。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明の第1の態様は、クラッド層によって包囲されたコア領域有するシングルモード導波路ファイバである。コア領域は、コア半径に沿った各点における屈折率で表わされる屈折率プロファイルによって特徴づけられる。コア領域内で光を案内す

るためには、コア屈折率プロファイルの少なくとも一部分がクラッドの屈折率よりも大きくなければならない。ほとんどの場合、クラッドは実質的に一定の屈折率を有しているが、クラッド層が一定でないプロファイルを有するようになされた有益なデザインが見出されている。

【0014】この第1の態様では、本発明のファイバの分散は導波路長に沿ってある範囲の正の値とある範囲の負の値との間で変化するようになされる。特定の長さ l_i の分散積 (ps/nmで表わされる) は、積 ($D \text{ ps/nm-km} \times l \text{ km}$) である。ps/nmの正の数値はそれに等しいps/nmの負の数値を打消す。一般に、長さ l_i における分散はその長さ l_i に沿った点間で変化するであろう。すなわち、分散 D_i は分散の予め定められた範囲内にあるが、 l_i に沿った点間で変化するであろう。ps/nmで表わされる分散積に対する l_i の寄与 (contribution) を表わすために、 l_i は全分散 D_i が本質的に一定であるセグメント dl_i で構成される。したがって、積 $dl_i \times D_i$ の和が l_i の分散積寄与を特徴づける。 dl_i がゼロに近づく限界では、積 $dl_i \times D_i$ の和は、長さ l_i について $dl_i \times D_i$ を積分したものにすぎない。分散が小長さ部分 l_i にわたって本質的に一定である場合には、積の和は単に $l_i \times D_i$ である。

【0015】全導波路ファイバ長の分散は、各セグメント dl_i の分散 D_i をコントロールすることによって管理され、積 $D_i \times dl_i$ の和が特定のシステム設計に適した予め選択された値に等しくなるようになされる。

【0016】この導波路設計は多重化システムにおける全能力に達するから、1つの実施例では、積の和は、信号が多重化されうる波長範囲にわたって、予め定められた値にコントロールされる。

【0017】長い再生器間隔を有する高速システムでは、約1525nm~1565nmの低減衰ウィンドー内の波長範囲が有利に選択されうる。この場合には、好ましい実施例はその波長範囲にわたって積の和がゼロを目標値とされるであろう。

【0018】 D_i の大きさは、4光子混合を実質的に防止するための約0.5ps/nm-km以上でかつ約20ps/nm-km以下に保持されるので、導波路ファイバ・パラメータの過剰に大きいスイングは必要とされない。

【0019】また、所定の全分散が持続する長さは一般に約0.1kmより大きい。この長さの限界が小さいことがパワー・ペナルティを軽減し (図7参照)、かつ製造方法を簡単にする。

【0020】DMシングルモード導波路の周期は、第1の範囲内の全分散を有する第1の長さ、第2の範囲内の分散を有する第2の長さ (第1の範囲と第2の範囲は符号が逆である)、分散が第1の範囲と第2の範囲の間で遷移する長さを加えたものとして定義される。コントロールされている量が全ファイバ長にわたる $D \times dl$ 積の和であるから、これら3つの長さ隣接している必要はない。しかし、プロセス・コントロールを容易にするため

には、これら3つの長さは一般に、第1の長さ、隣接した遷移長さ、そしてその遷移長さに隣接した第2の長さのように配列される。遷移長さにおける4光子混合とそれに伴うパワー・ペナルティを回避するために、約0.5ps/nm-kmより小さい全分散を有する遷移長の部分をできるだけ小さく、好ましくは遷移当り約500メートル以下に、かつ好ましくは周期の10%以下に保持するのが有利である。

【0021】

【発明の実施の形態】導波路長の分散は、導波路の幾何学形状寸法、導波路の屈折率、導波路の屈折率プロファイル、あるいは導波路組成を変更することを含む複数の方法によって変化され得る。1つの実施例では、公知の方法で作成されたコア・プリフォームが減少された直径の部分を有するように処理されうる。この減少はプリフォームの1つまたはそれ以上の部分を加熱しかつ延伸することのような幾つかの方法の1つにより、あるいは研削および研磨のような機械的方法、酸エッチングおよび研磨のような化学的方法、またはレーザ・アブレーションのようなエネルギー衝撃技術によってプリフォームの環状領域を除去することにより行うことができる。このようにして得られたコア・プリフォームには、均一で痔疾的に円筒状の外表面を有する延伸母材またはプリフォームを形成するために、スート沈積またはオーバークラッド用チューブの使用を含む幾つかの方法の1つによって、オーバークラッドを設けられる。

【0022】上述したものと同様の方法では、コア・プリフォームが大きい直径の部分を有するように処理される。このコア・プリフォームが加熱され、そしてその加熱された領域の両側におけるプリフォームの領域が、加熱された領域を拡大または膨出させるために、その加熱された領域の方へと移動されるようになされ得る。このようにして得られたコア・プリフォームは、延伸母材を形成するために、オーバークラッドを設けられる。

【0023】均一な直径を有するファイバを形成するために延伸母材が延伸されると、コア・プリフォームの半径を減少された長さに対応した長さにわたって、導波路コ半径が減少されるであろう。所望の正から負への分散変化を生ずるためには、約5%~25%の直径減少で十分である。全分散の絶対値が約20ps/nm-kmである場合にだけ、25%の減少が必要とされるであろう。ほとんどの用途に対して、一般に5%~10%の半径変化の範囲で十分である。前述のように、コントロールされる量は、積 $D_1 * dl_1$ および $D_2 * dl_2$ の和であり、この場合、 D_1 は値の第1の範囲内にある減少された半径 r_1 に対応した全分散であり、そして D_2 は値の第2の範囲内にある減少されていない半径 r_2 に対応した全分散である。 D_1 および D_2 は動作波長範囲内で異なる代数学符号を有する。

【0024】実質的に均一な直径コア部分を有する延伸プリフォームまたは母材の直径を有するセグメントを減

少し、そして均一な外径を有する導波路ファイバを形成するようにプリフォームを延伸することによってもコア直径変化が得られるであろう。導波路コアは、直径を減少されなかった延伸プリフォーム・セグメントに対応する減少された直径のセグメントを有するであろう。

【0025】他の実施例では、ファイバ・コアの屈折率が導波路長さに沿って変化される。屈折率は電磁スペクトルの放射線をファイバに照射して、あるいは電子、アルファ粒子または中性子のような亜原子粒子で導波路を衝撃することによって変化されうる。各粒子はそのドブロイ波長によって特徴づけられる。したがって、粒子衝撃を特定のドブロイ波長での照射と言ってもよい。コアの屈折率に変化を生じさせるための好ましい方法は導波路ファイバに紫外線を照射することである。導波路ファイバを保護するために用いられているポリマー被覆材料の性質のために、その紫外線照射は、ファイバが炉のホット・ゾーンを通過して出てきた後であって、ポリマー被覆を受取る前に、行われる。 5×10^{-6} 程度の小さい屈折率差が4光子混合を制限するように作用することができる。約 1.0×10^{-3} より大きい屈折率差が好ましい。

【0026】この変化する屈折率が、 $D_1 * dl_1$ および $D_2 * dl_2$ の積の和をコントロールできるようにする変化する全分散を生ずる。 D_1 は第1の屈折率範囲に対応した全分散である。 D_1 と D_2 は異なる代数学符号を有する。

【0027】多数の屈折率プロファイルのうちの任意のものが、導波路分散を調節し、そしてそれによって全分散を変化させるための所要の柔軟性を与える。米国特許第4715679号、米国特許出願第08/323795号、第08/287262号、および第08/378780号に詳細に記載されている。

【0028】本発明の導波路に必要な特性を与える特定の組の屈折率プロファイルは、屈折率プロファイルを有する中央部分と、その中央部分を包囲していて、それとは異なる屈折率プロファイルを有する少なくとも1つの環状部分を含んだコア領域を有するものである。このタイプのプロファイルを有する光ファイバはセグメンテッド・コア・ファイバと呼ばれている。中央部分はアルファ・プロファイル、すなわち $n(r) = n_0 [1 - \Delta (r/a)^\alpha]$ という式で表わされるプロファイルを有しうる。この場合、 n は屈折率、 n_0 は最大屈折率、 r は半径方向の変数、 a はファイバ・コア半径、 Δ は%屈折率、 α はゼロより大きい数である。 Δ という項は $(n_1^2 - n_2^2) / 2n_1^2$ として定義される。ただし、 n_1 はコア領域の最大屈折率であり、そして n_2 はクラッドガラス層の屈折率である。

【0029】他の実施例では、屈折率プロファイルが、クラッドガラス屈折率に実質的に等しい屈折率を有する本質的に一定の中央部分を含んでおり、かつ隣接した環状の屈折率部分はラウンデッド・ステップインデックス (rounded step index) である。製造を簡単かつ容易にするためには、一定の中央領域と1つの環状ラウンデッ

ド・ステップインデックス部分を有する屈折率プロファイルが好ましい。この簡単な屈折率プロファイルの好ましい実施例は、約1%の最大屈折率 Δ と、約0.5の比 a_1/a を有する。 a_1 および a は図4に定義されている。

【0030】本発明の他の態様は、本質的に一定の分散 D_1 を有するセグメント dl_1 で構成された多数の小長さ部分 l_1 を有し、 D_1 の分散のゼロが第1の波長範囲内にあるシングルモード光導波通路である。 l_1 および遷移長部分と一緒に導波路ファイバ長を構成する残りの小長さ部分 l_2 は、本質的に一定の分散 D_2 を有するセグメント dl_2 で構成され、かつ D_2 の分散ゼロが第1の波長範囲から分離した(disjoint)第2の波長範囲内にある。分離した(disjoint)という用語の一般的な意味は、2つの範囲が共通の値を有していないことである。長さ l_1 と分散 D_1 の積 $dl_1 \cdot D_1$ および長さ l_2 と分散 D_2 の積 $dl_2 \cdot D_2$ の代数和は、予め定められた波長範囲にわたって予め定められた値とんまるように選択される。

【0031】分散シフト導波路ファイバの場合には、好ましい予め定められたシステム動作範囲は約1525nm~1565nmである。分散ゼロに対する第1の範囲は約1570nm~1680nmであり、そして第2の範囲は約1480nm~1535nmである。このようなシステムでは、通信信号が非ゼロ分散の、例えば全分散が約0.5ps/nm-kmより小さい導波路ファイバ中を実質的に常時進行し、それによって4光子混合を実質的に防止する。しかし、システム全体の全分散は本質的にゼロに保持されるので、全分散、すなわち材料分散と導波路分散をプラスした分散による信号劣化はほとんど生じない。

【0032】本発明のさらに他の態様はDM導波路ファイバを製造する方法である。コア・プリフォームの残部よりも直径が小さい少なくとも1つの小長さ部分を有するコア・プリフォームが準備される。延伸プリフォームを与えるためにクラッド層が添着される。延伸プリフォームが延伸されて、実質的に一定の外径を有する導波路ファイバとなされる。公称仕様に対応して、この導波路ファイバには実質的に空乏が存在しない。この導波路のコアは減少された直径を有するプリフォーム小長さ部分に対応した減少された直径の小長さ部分を有しているであろう。減少された直径の小長さ部分の数、長手方向の長さおよび深さは、全分散と小長さ部分との積の和が予め定められた導波路範囲にわたって予め定められた値に等しくなるように選定される。上述のように、全分散が小長さ部分にわたって変化する場合には、その小長さ部分は本質的に一定の全分散と特性全分散対長さ積をそれぞれ有する。

【0033】直径変化を導入する他の方法は、実質的に一定の半径方向コア寸法を有するものとして特徴づけられる延伸母材の少なくとも1つの小長さ部分の直径を減少することである。導波路を延伸して均一な直径にする

この場合、導波路コア直径は、直径を減少されていない対応した延伸プリフォーム小長さ部分では小さくなるであろう。

【0034】コア・プリフォームまたは延伸プリフォームの直径減少は幾つかの公知の技術うちの1つを用いて行うことができる。それらの技術は、研削および研磨、エッチングおよび研磨または加熱および延伸のような一連の技術を含む。

【0035】代替として、コア・プリフォームの部分を加熱しかつその加熱された部分の両側におけるコア・プリフォームの部分を加熱された部分の方へと押しやってそれを膨出させることによって、コア・プリフォーム内にコア直径変化を導入させることができる。

【0036】上述のように、約0.1kmより大きい減少直径導波路コア小長さ部分を有することが有利である。減少の程度は非減少コア直径の約5%~25%の範囲が好ましい。上述のように、5%~10%の範囲で通常は十分である。

【0037】製造を容易にする方法の1つの実施例では、減少直径の小長さ部分がコア・プリフォームまたは延伸プリフォームに沿って均一に離間され、導波路内に減少された導波路ファイバ小長さ部分と減少されていないものとの対を生じさせ、それらの小長さ部分は、直径が減少した寸法から減少されていない寸法へと、あるいはその逆に変化する遷移部分によって接合される。導波路全体がこのような対で構成される場合には、全体の全分散は容易にゼロを目標とすることができる。

【0038】全分散目標値もゼロ以外の値でありうる。全導波路ファイバ長は、分散が本質的に打消し合う多数の小長さ部分と、目標のまたは選択された分散に長さを掛けた値を有するように設計された付加的な小長さ部分とで形成されている。

【0039】本発明の他の態様は、少なくとも1つの小長さ部分において屈折率プロファイルが増大されたシングルモード導波路ファイバの所定の長さにわたって分散を紫外線照射によって管理して、照射された小長さ部分と照射されなかった小長さ部分との間に全分散の差が存在するようにする方法である。その照射工程は、延伸の後であって導波路を被覆を施す前に行われるのが有利である。上述のように、約 1.0×10^{-3} より大きい屈折率差が好ましい。

【0040】4光子混合に起因するパワー損失を軽減するために有効な照射手法は、約100mJ/cm²のエネルギー・フラックスを有し、約10~20nsの範囲の時間にわたって送られ、約1cm²のスポット・サイズを有する紫外線光の少なくとも1つのパルスガファイバに入射するものである。すなわち、4光子混合に起因する信号パワー損失を軽減するのに十分な屈折率変化が導波路ファイバ内に発生される。

【0041】

・【実施例】本発明は、ps/nmで表わされる全分散積が導波路の長さによって管理されるシングルモード光導波路ファイバに関する。波長分割多重化システムにおける4光子混合によるパワー・ペナルティがこれにより大幅に回避され得るとともに、全システム分散が予め定められた値に維持され得る。多くの長距離、大再生器間隔、高データ伝送速度、多重化システムにおいて、全分散積の所望の予め選択された値は本質的にゼロである。

【0042】各個々のファイバ内の分散を管理することによって、システム内にリンクを形成するために接合された場合に実質的にゼロ分散を生ずる導波路の組を選択する必要がない。すなわち、全分散積が個々の導波路ファイバで管理されるので、システムを形成するために敷設されているケーブルは性能が本質的に同一であり、したがって互換可能である。

【0043】ps/nm-kmで表わされた全分散が図1に導波路の長さとの関係で示されている。全分散は正の値2と負の値4の間で交互に変化していることが判る。図1は負の分散を呈示する複数の小長さ部分と、正の分散を呈示する複数の小長さ部分を示しているが、1つの負分散小長さ部分と、1つの正分散小長さ部分だけで十分である。線6で示されている全分散値の広がり、全分散が伝播光の波長とともに変化することを示している。広がり6の水平方向の線は特定の光波長に対する全分散を表わしている。一般に、特定の全分散によって特徴づけられる導波路8の長さは、約0.1kmより大きい。長さ×対応全分散の積の和が予め選択された値に等しいという要件から推論されうるものを除き長さ8には上限は本質的に存在しない。

【0044】図2に示された全分散対波長のチャートはDMシングルモード導波路ファイバに対する設計項目を示す役割を果たす。線10、12、14および16は4本の個々の導波路ファイバの全分散を表わしている。各導波路について考慮される狭いすなわち約30nmの波長範囲では、分散は図示された直線で近似されうる。多重化が行なわれるべき波長範囲は26～28の範囲である。動作窓26～28において予め選択された全分散を有する導波路を得るために、18～20の範囲内のゼロ分散波長を有する任意の導波路セグメントが、範囲22～24内のゼロ分散波長を有する導波路セグメントと結合されうる。

【0045】図2に基づいた実施例
動作窓が1540nm～1565nmであるとする。シングルモード導波路ファイバが約0.08ps/nm²-kmの分散傾斜を有するとしよう。線30が0.5ps/nm-km値であり、そして線32が4ps/nm-km値であるとする。動作窓内の全分散が約0.5～4ps/nm-kmの範囲内になければならないという条件を適用しよう。

【0046】単純な直線計算が1515nm～1534nmのゼロ分散波長範囲18～20を生ずる。同様の計算が1570nm～

1590nmのゼロ分散波長範囲22～24を生ずる。上記の範囲内に分散ゼロを有する導波路ファイバ・セグメントの代数加算が0.5ps/nm-kmと4ps/nm-kmの間の全分散を生ずるであろう。

【0047】上述のように、ゼロ分散波長をシフトする手段はコア・プリフォームまたは延伸プリフォーム長に沿って半径または Δ を変化させることを含む。

【0048】モデル計算により、図3における曲線34に似た2モード導波路分散曲線が可能であることが明らかとなった。曲線34は図4に示されている実線38で表わされた屈折率プロファイルに対応している。2モード分散を呈示するファイバ・デザインが米国特許出願第08/287262号に開示されている。曲線34は比較的平坦な領域34aおよび34bと、比較的急傾斜の領域34cを含んでいる。図3の線35は、低い λ 。波長領域34aと高い λ 。波長領域34bがよくコントロールされかつ同時に広く離間され得ることを示している。線37が曲線36または曲線34と交差する場所は、高い導波路分散と低い導波路分散の間の平均を表わす。図3の曲線34に示された2モード導波路分散を有する導波路ファイバにおいて、図2に基づいた実施例に示されているようにゼロ分散波長の比較的大きい変化を生ずるためには、カットオフ波長、すなわちそれに比例した量であるコア半径のほんの小さい変化が必要とされるにすぎない。曲線34によって表わされた分散特性を有するファイバはまた下記の利点を有する。大きいコア直径と小さいコア直径の交互の領域を有するDMファイバでは、製造処理により設計直径からの直径の若干の偏差を生ずることがありうる。この点を示すために、異なるコア直径のファイバ領域に対する動作点が図3のD₁およびD₂であるとする。D₁およびD₂が2モード曲線の比較的平坦な領域に沿って位置している場合には、D₁およびD₂のまわりのコア直径またはカットオフ波長の小さな変動は、小コア直径領域の λ 。値も大コア直径領域の λ 。値も大きく変化させない。

【0049】理想的なプロファイルは図4の曲線38で表わされているものであろう。この場合、コア・リングの内部半径と外部半径はそれぞれa₁およびaで表わされている。しかし、ある製造技術によれば、ドパーント拡散によってプロファイルを実理想プロファイルから破線曲線40で表わされたもののようなプロファイルに変位させることになりうる。プロファイル40のコア・リングの内部半径はa₁より小さく、そして外部半径はaより大きい。このことは、図3の破線曲線36で示されているように導波路分散曲線をより急峻でなくするであろう。

【0050】製造方法を簡単にするために図3の36のような導波路分散特性を有するプロファイルを使用することを選ぶことができる。特定の通信用途は、より複雑なプロファイルが補償されるか否かを指図する。しかし、全分散積を最も良く管理するためには、異なるレベ

ルの導波路分散を分離する急な遷移領域を有する導波路ファイバが好ましい。分散ゼロの2つの分離した波長範囲間の所要のシフトは、3モード導波路分散を有するプロファイルの場合には、5%~10%半径変化程度のより小さい半径変化でもって行なわれうる。このようにして全分散の符号変化の管理が容易になる。また、全分散が約0.5ps/nm-kmより小さい信号が進行する導波路内の距離が最小に保持される。

【0051】DMファイバの設計は、8チャンネルを有し、チャンネルの周波数間隔が200GHzである120kmリンクに対するパワー・ペナルティ対入力パワーを示す図5Aおよび図5Bに見られるように通信システムの詳細に強く依存する。この場合、パワー・ペナルティは主として4光子混合によるものである。図5Aの曲線62は約10dBmの入力パワーに対しては1dB近くのペナルティまで急激に立上がる。10dBmの入力パワー（曲線64）の場合には、ペナルティは約0.6dBである。両方の曲線とも、全分散の大きさは約0.5ps/nm-kmである。しかし、より急な曲線62の場合には、所定の符号の全分散に対する小長さ部分は10kmである。その余分なペナルティは、より短い10kmの小長さ部分の場合に対するゼロ分散を通る付加的な遷移から生ずる。換言すると、10kmの場合には、振動小長さ部分に比例した信号の位相間隔は4光子混合を実質的に防止するのに十分なだけ大きくない。

【0052】しかし、全分散の大きさは位相間隔に対しても、したがってパワー・ペナルティに対しても影響を及ぼす。図5Bの曲線66は、小長さ部分が短くて約1kmであるが、全分散の大きさが1.5ps/nm-kmであることを除いて、図5Aに示されているものと同一であるシステムの場合のパワー・ペナルティを示している。導波路全分散により広い正から負への揺れを生じさせると、パワー・ペナルティを大幅に、0.6dBから0.2dB以下まで減少させる。約0.4dB/120kmのペナルティ差は、特に500km以上の長い再生されないリンクの場合には、機能的および非機能的リンク間の差となるのに十分大きい。

【0053】図6は図5Aおよび図5Bと本質的に同じ態様で解釈される。曲線68はパワー・ペナルティと全分散の大きさとの関係を示している。一般に使用される最も短いケーブルの長さが約2kmであるから、導波路の小長さ部分は約1kmとして選定される。この場合も、全分散が約1.5ps/nm-km以下に低下すると、パワー・ペナルティが急激に増大する。

【0054】システム設計は図7で他の観点から示される。この場合、分散の大きさは1.5ps/nm-kmに固定される。曲線70は、周波数間隔が200GHzで入力パワーが10dBmの8つの間隔を有するシステムの場合のパワー・ペナルティと小長さ部分の長さとの関係を表わしている。その長さは60の分散小長さ部分であるように選定され、かつ小長さ部分は変化を許容される。小長さ部分が

2km以上である場合には、より低いパワー・ペナルティが生ずる。しかし、比較的大きい全分散値の場合には、小長さ部分を2kmより長くしても得られるものは少ない。一般に、使用されるチャンネルの数が曲線72で示されているように4まで減少された場合には、4光子混合ペナルティはより小さくなる。この後者の減少は、上述しかつ定義の項で述べたファイバ特性に対する位相間隔の依存性の直接の結果である。

【0055】他の設計項目は、全分散が符号を変化する遷移長部分の急峻性である。この場合もまた、信号位相間隔が遷移長部分によって影響される。このようにして、浅い遷移は信号が近ゼロ全分散の導波路領域を進行するようにするであろうが、このことは4光子混合が原因のパワー・ペナルティに悪影響を及ぼす。

【0056】図8に基づく実施例：この場合も、入力パワーは10dBmである。200GHzの周波数間隔を有する4つのチャンネルが用いられる。全分散の大きさは1.5ps/nm-kmであり、そして全分散の振動長は2kmとされる。図8の曲線74で示されているパワー・ペナルティ対遷移長のグラフは、より短い遷移長が好ましいことを示している。また、他の設計項目とコストの面での利点についての検討の枠組みにおいて、遷移の数は最小でなければならない。あるシステムは約1dBのパワー・ペナルティを許容するであろうから、最大許容遷移長は図8に示されているように約500メートルである。

【0057】ファイバ製造技術：光ファイバの周期は数十メートルから数百メートルとなるように選定され得るものであり、任意の妥当なリンク長における平均分散は動作波長窓ではきわめて小さくなる。

【0058】大きい分散と小さい分散の領域間の遷移領域が長すぎる場合には、遷移領域の中央部分における分散は、有限長のファイバではゼロに近くなる。このことは4光子混合によるあるパワー・ペナルティをある程度だけ生ずることになる。遷移領域が長ければ長いほど、パワー・ペナルティは高くなる。したがって遷移領域は、ファイバ・パワー・ペナルティによって全システム・パワー・ペナルティが割当てパワー・ペナルティ・バジェットを超えることがないようにするのに十分なだけシャープでなければならない。さらに、処理は、4光子混合と関係のない過剰損失をそれ自体で誘起するものであってはならない。また、処理は単純で、かつ種々のファイバ設計および材料で実施できるように十分に柔軟でなければならない。

【0059】開示された技術は、(a) 延伸時におけるコア屈折率の修正、(b) 直径が可変のコアと直径が一定のクラッドまたは直径が実質的に一定のクラッドを有する延伸プリフォームの作成、および直径が一定のコアと直径が可変のクラッドを有する延伸プリフォームの作成を含む。さらに、これらの技術の組合せを用いてもよい。

【0060】(a) 延伸時におけるコア屈折率の修正：導波路ファイバ延伸装置の概略図が図 9 に示されている。技術的に公知なように、延伸母材 77 が炉 78 内で加熱され、そして延伸されて導波路ファイバ 79 となされる。導波路 79 は被覆装置で保護被覆を与えられ、そして巻取りル 81 に巻きつけられる。この装置に新しく付加されたものは、ハイパワーで良く集束された紫外線発生源 76 であり、それが延伸の後であって被覆の前に導波路ファイバに照射される。志願線光は、導波路のドープされた領域における屈折率を高める作用をすることが知られている。このようにして、紫外線光はコア領域の屈折率を増大させるように作用する。導波路ファイバ長に沿って屈折率の変化を誘起させるために、紫外線発生源が周期的にオンオフされる。その変化は、4 光子混合によるパワー・ペナルティを減少させるのに十分な全分散の変化を生じさせるのに十分なだけ大きくなければならない。約 $100\text{mJ}/\text{cm}^2$ のエネルギー束を有する持続期間が $10\sim 20\text{ns}$ の少なくとも 1 つのパルスである有益な効果を生ずるのには十分であることが認められた。約 248nm で動作するエキシマーレーザーが高強度で良く集束された紫外線の優れた発生源である。

【0061】(b) コア・プリフォームのコア直径を修正し、その後、オーバークラッドを設ける：コア・プリフォームは、クラッドガラスを設けられた後で、延伸して光ファイバとなされ得るプリフォームである。高品質コア・プリフォームを形成するための経済的な方法は、

(a) ガラス粒子沈積法で多孔質ガラスプリフォームを形成し、(b) その多孔質プリフォームをコンソリデートしてコンソリデートされたプリフォームを形成し、

(c) コンソリデートされたプリフォームに穴が存在する場合、その穴を閉塞し、そして (d) クラッドを添着する前に必要に応じてプリフォームを延伸する工程を含む（穴を閉塞する工程は延伸工程時に行うのが有利である）。米国特許第 4486212 号を参照されたい。米国特許第 4486212 号に開示されているように、コア・プリフォームはクラッドガラスの薄い層で包囲されたコアガラスの中央領域を具備する。あるいは、コア・プリフォームは図 10A に示されているように、全体的にコアガラスよりなるものであってもよい。

【0062】図 10A は直径 83 のガラスコア・プリフォーム 82 を示している。コア・プリフォームの長さによってある間隔で、直径は直径 84 で示されているように減少される。減寸された領域の長さが線 85 で示されている。コア直径に所望の変化を生ずるように直径 84 は直径 83 に対して $5\%\sim 25\%$ だけ減寸されうる。長さ 85 は、得られる光ファイバにコア直径を減少された所望の小長さ部分を生ずるように調節される。コア・プリフォームの直径は、研削、エッチングレーザーアブレーション、および加熱と延伸を含む幾つかの公知の方法のうちのいずれかによって減少されうる。コア・プリフォ

ームとクラッド層との間に均一できれいな境界面を確保するために、研削またはエッチングの後で、研磨工程を行なってもよい。

【0063】コアを機械加工するかあるいはエッチングしてコア・プリフォームに直径を減少された領域が形成される場合には、コアはステップインデックス・プロファイルを有することが好ましい。除去されるコアの部分は残りの部分と実質的に同じ屈折率を有するであろう。

【0064】図 10A のコア・プリフォーム 82 が回転（矢印 82a）されるとともに、長手方向の軸線に沿ってバーナ 86 に対して往復直線運動をされて、バーナがクラッドガラス粒子の流れ 87 を送ってクラッドガラス粒子の層 88 をコア・プリフォーム 82 上に堆積させる。このようにして得られた被覆されたコア・プリフォームがコンソリデーション炉内に挿入され、そこで被覆 88 が乾燥され、そして焼結されて、稠密なガラスクラッド層を有する延伸母材を形成する。コア・プリフォーム・スロットの長さ 85 が少なくとも数ミリメートルであれば、クラッド粒子 87 が直径を減少された領域に充填するであろう。したがって延伸プリフォームの外表面は若干不均一となるであろう。コア直径の減寸の程度が小さいから、延伸プリフォームの直径変化は小さくなる傾向がある。

【0065】被覆されたコア・プリフォームまたはコンソリデートされたガラス延伸プリフォームのオーバークラッド・スート 88 は、延伸プリフォームの円筒形状を確保するために通常の技術によってスムーズされうる。コア・プリフォームは脆弱であるから、直径修正工程はコンソリデートされたプリフォームに対して行なわれるのが好ましい。図 10C は直径変化を有するコンソリデートされたプリフォーム 89 を示している。これらの変化の厚さは明瞭にするために誇張されている。プリフォーム 89 はその中心の長手方向軸線のまわりで回転され得るとともに、大きい半径の領域が機械加工、エッチング等によって除去され、表面領域 90 がプリフォームの残部と同じ直径を有するようになし得る。図 10D に示されているように、このようにして得られた延伸プリフォームは実質的に均一な外径 91 を有している。修正されたコア・プリフォーム 82 はクラッド材料 92 に入れ込まれて示されている。

【0066】また、オーバークラッド形成方法は、均一な直径の延伸プリフォームを確保するために当業者によって容易に修正されうる。例えば、コア・プリフォーム 82 に対してバーナ 86 を移動させる速度は、流れ 87 によって堆積されつつあるコア・プリフォームの特定の小長さ部分に従って変化され得る。バーナの移動は、そのバーナが直径の大きいコア領域上に沈積する場合よりも狭い直径のコア領域上に粒子を沈積する場合のほうが遅い。狭いコア・プリフォーム領域と広いコア・プリフォーム領域の上におけるクラッドガラス粒子の堆積は、

その粒子をコンソリデートすることによって生じた延伸母材の直径が本質的に一定となるようになされ得る。

【0067】図10Dの延伸プリフォームが延伸されて均一な直径の導波路ファイバとなされる場合、直径を減少されたコア・プリフォーム部分がファイバの直径減寸コア部分となる。延伸母材が図10Cに示されているもののように直径の大きい領域を有する場合には、大径領域から延伸されたファイバ小長さ部分のコアは所望の直径より小さい直径を有するであろう。延伸母材の大径領域が上述のように除去されない場合には、DMファイバを設計する時に、このようにして得られたファイバのそれらの領域におけるファイバ・コア直径を減少させることが考慮されなければならない。

【0068】図11Aおよび図12に示された実施例では、任意の適当なファイバ・コア設計のコア・プリフォーム93が旋盤96、98（水平または垂直の）あるいは他の適当な装置に取り付けられ、そしてバーナ100からの非常に狭い炎102でもって加熱される。バーナからの熱はコア・プリフォームに沿って数ミリメートル以下まで軸線方向に局部化されるのが好ましい。炎の温度と熱容量はコア・プリフォームガラスを局部的に軟化させるのに十分でなければならない。図12に示されているように、コア・プリフォーム93はクラッドガラスの層94で包囲されたコア領域95を具備している。ファイバが1500-1600nm窓で動作するシリカをベースとしたファイバである場合には、コア・プリフォーム93はその範囲内でゼロ分散を有する分散シフト・ファイバを形成するのに適したものであるであろう。ガラスがその軟化点に達すると、加熱された領域の直径を減少させるためにコア・プリフォームが引張られる。これによって狭い直径領域108が形成される。引張り工程は通常炎が引張られている領域に照射されている間に行なわれる。水平旋盤が使用された場合には、コア・プリフォームの回転が引張り動作時におけるコア・プリフォームの歪を防止するのを助ける。加熱および引張り工程はコア・プリフォームの長さに沿って所要の時間間隔で行なわれる。延伸は、2つの直径におけるコア・プリフォームの長さ l_1 および l_2 がほぼ等しくなるように行なわれるのが好ましい。その後でバーナが、軟化されかつ延伸されるべき次の領域に高速で移動される。

【0069】図11Aは異なる直径のコア・プリフォーム領域間に明確な遷移を生ずる非常に局部化された加熱条件を与える1つのタイプのバーナ設計を示している。バーナ100のフェースは炎102を与える燃焼ガス・オリフィスの円形アレイと、冷却ガスの円筒状の流れを与える外側シールドガス・オリフィスの円形アレイを有している。外側シールド流れ103は炎102を閉じ込めかつ集束させかつそれと同時に局部化された加熱ゾーンの外側においてコア・プリフォームに対流冷却を与える。炎はホットゾーンの縁部に出来るだけ急峻な温度勾

配を伴ってホットゾーンを横切る方向にできるだけ均一な温度を有していなければならない。これにより、比較的短い遷移領域 l_t を生ずるであろう。図11Bの温度分布106は炎102の領域A-Aにおける好ましい分布を表わしている。

【0070】この目的に対しては他のタイプのバーナまたはバーナ組合せを使用することも可能である。例えば、米国特許第3565345号に開示されているもののような集束バーナは燃焼ガスの流れを共通の点に送るための傾斜したノズル開口を有している。集束外側シールドガス流によってとじ込められた炎を与えることができるリングバーナがコア・プリフォームを取囲んでおりかつ同時にそのプリフォームの周囲領域全体を加熱し得るであろう。燃焼ガスオリフィスの1つまたはそれ以上の直線アレイを有しかつ必要に応じてシールドガス・オリフィスの直線アレイを有するリボンバーナを用いてもよく、その場合、燃焼ガス・オリフィスのアレイはコア・プリフォームの長手方向軸線に対して直交関係に配置される。

【0071】図11Aおよび図12に基づいた実施例：約7mmのクラッド直径および約5mmのコア直径を有するコア・プリフォーム93がそのコア・プリフォームの長さに沿って所定の間隔で直径を約6.5mmまで減寸される。長さ l_1 （図12）は2mmに選定される。コア・プリフォームは図10Bに示されているようにオーバークラッドを設けられ、そしてコンソリデートされて約5mmの最終直径を有する延伸プリフォームを形成する。

【0072】延伸プリフォームが延伸されて約125 μ mの均一な外径を有する導波路となされる場合、2mmセグメントの質量が保存されかつ%差で表わされるコア半径変化が約14%であるとする、長さ l_1 は約320メートルとなる。この例は米国特許第4715679号および米国特許出願第08/323795号、同第08/287262号ならびに同第08/378780号に開示されているタイプのものであり、それによって約16 μ mのコア直径がシングルモード伝播を生ずるものと仮定している。

【0073】延伸プリフォームの直径が約100mmである場合には、同一のコア・プリフォームおよび延伸条件では、長さ85は1280メートルとなり、かつコア半径変化は変化しない。

【0074】図13は、炎118によって加熱されるべき領域に隣接したコア・プリフォーム116の部分に対して供給源120から空気、窒素、ヘリウム等の外部集束冷却ジェット122を送ることによって加熱の付加的な局部化を行うことができる。「外部冷却ジェット」というのはバーナ・フェース以外の供給源からのジェットを意味する。これらのジェットは、冷媒ガス送り管の端部におけるプレートに形成されたオリフィスから流れることができる。供給源120は図示のようにバーナに対して180°で配置されるか、あるいは90°またはコア・プ

プリフォームの加熱をジェットが妨害しないようにするバーナに対する他の任意適当な姿勢で配置されてもよい。

【0075】炎の温度分布を急峻にする他の技法が図14に示されている。シールドまたはバッフル128が炎の部分132を偏向させかつ炎の中央領域だけがコア・プリフォーム126を加熱するようにさせる。バッフルは金属、セラミックまたはカーボンの冷却プレートで形成されうる。図15のコア・プリフォーム136にはエッチング、研削、レーザーアブレーション等によって周期的なスロットが最初に形成され、それらのスロット内のコア・プリフォームの質量を減少させるようになされる。炎がこれらのスロットを形成された領域をそれらに隣接した大径領域と比較してさらに迅速にかつ優先的に加熱する。スロットを形成された領域が加熱されかつ延伸されて狭い直径の領域142となされると、それが比較的シャープな遷移領域を形成する。

【0076】図16は、コア・プリフォーム146を局部的に加熱し軟化させてそのコア・プリフォームが上述のように延伸できるようにするためのビーム147を与えるのに十分なパワーのCO₂レーザーのようなレーザー148を使用する場合を示している。

【0077】レーザービーム154（図17）のパワーおよび/または存続期間はコア・プリフォーム151から材料を除去して小径領域156を形成するのに十分であればよい。この目的に適したレーザーの例としてはCO₂レーザーとエキサイマー・レーザーがある。レーザーアブレーションによって形成された領域は比較的スムーズでありかつレーザービームがコア・プリフォームのクラッド部分153を貫通してコア領域内に切込むので、異なる直径のコア領域を形成するためには延伸工程は必要とされない。

【0078】図18は熱伝導スリーブ162を使用した場合を示しており、そのスリーブにはその表面上または内に冷媒を誘導するために手段が必要に応じて設けられる。スリーブ162は延伸を可能にするのに十分なだけ加熱されるコア・プリフォーム160の領域を局部化する。したがって、コア・プリフォームには、それが延伸された場合に、比較的シャープな直径の遷移が与えられる。

【0079】図19の実施例では、コア・プリフォーム165が上述のように炎加工旋盤に挿入される。離間された領域が炎によって加熱される。コア・プリフォームを引張らないで、被加熱領域の両側がその被加熱領域の方へと移動され、それによって被加熱領域の直径を増大させてシャープな膨出部166を設ける。

【0080】多直径コア・プリフォームが、抵抗ヒータ171を具備した延伸用炉（図20）内で形成され得る。プリフォーム供給装置175とモータで駆動されたトラクタ176が、延伸されるべきコア・プリフォーム170の部分、ヒータ171によって発生されたホッ

トゾーン内に進入させる。ガラスが延伸されるのに十分なだけ柔らかくなった後で、トラクタ174および/またはプリフォーム供給装置175が、コア・プリフォームを延伸させるために、その係合された部分を被加熱領域から離れる方向に引張り、それによって小径領域172を形成する。手段175および176は、次の領域がヒータ171によって発生されたホットゾーン内に位置決めされるまで、そのホットゾーンを通じてコア・プリフォームを移動させる。コア・プリフォームの延伸は、その長さに沿った離間された領域で反復され、その場合、延伸されていない大径領域173が小径領域172の間に位置決めされるようになされる。多直径ロッドを延伸するための種々の技法が米国特許第4704151号に開示されている。例えば、トラクタ176は、それらが多直径コア・プリフォーム178と常に接触しているようにするために矢印177で示されているようにばね装荷されうる。

【0081】図20のコア・プリフォームの被加熱領域は、再延伸トラクタ174および/または送り装置175にプリフォームを被加熱領域の方へと進行させるだけで直径を減少させるのではなくて増大させるようになされうる。

【0082】図20のものと同様の炉要素が同一符号で示されている図21を参照すると、供給装置175、ヒータ171およびトラクタ176を具備した延伸用炉内でコンソリデートされたプリフォーム181から多直径コア・プリフォームが延伸される。コンソリデートされたコア・プリフォーム181は、その中に長手方向の穴が延長するようにする前述の米国特許第4486212号の方法によって形成されるタイプのものである。プリフォーム181が供給手段175によって一定速度でホットゾーンに供給される。真空源Vに連結された真空取り付け具184をプリフォームの端部に装着することによって、プリフォームの穴が脱気される。トラクタは、大径領域185を形成するために第1の延伸速度で引張り、そして小径領域186を形成するためにそれより高い速度で引張る。コア・プリフォーム182の大径領域または小径領域を形成するためにプリフォーム181の直径が減少すると、脱気された穴が崩壊(collapse)する。処理に対するコントロールを改善するためおよび直径遷移領域の長さL_Tを減少させるために、上述した手法のうちのあるものが上述した手法のうちのものとともに使用され得る。

【0083】上述した方法のうちいずれかに従ってコア・プリフォームが延伸または拡大された後で、通常的手法を用いてそれにオーバークラッドを設けることができる。コア・プリフォームの直径とオーバークラッド沈積重量が適切に調節されれば、コンソリデーション処理時に実質的に円筒状の延伸母材が形成され得る。

【0084】図11Aおよび図12の技法に基づいた実

10

20

30

40

50

施例：米国特許第4486212に開示されたタイプのガラス粒子沈積法によってプリフォームが形成される。そのプリフォームは、外径(OD)が7mmで、コア直径が4.55mmのコア・プリフォームを形成するために延伸された。コアの屈折率プロファイルは標準の分散シフト・ファイバのそれであり、かつ米国特許出願第08/323795号に開示されたものと類似している。そのプロファイルは、実質的に純粋なSiO₂の層によって包囲されたGeO₂をドープされたSiO₂の中央領域(この領域ではGeO₂の含有量が半径に関して実質的に直線的に減少した)を含んでおり、そして実質的に純粋なSiO₂の層がGeO₂をドープされたSiO₂の層によって包囲された。最大GeO₂濃度(コアの中心における)は約20重量%であった。クラッドは純粋なシリカで形成された。コア・プリフォームの部分の直径が図11Aに関連して開示された技法によって減少された。加熱源は1mmノズルを有するタイプ3Aブローパイプ・トーチとして知られた小さいバーナであり、それはカリフォルニア州リッチモンドのベリフロ・コーポレーションで製造されたものであった。燃料は水素と酸素であった。一定コア直径基準ファイバが延伸されう

ように所定の長さのコア・プリフォームが延伸されなかった。このようにして得られたコア・プリフォームにシリカ粒子がオーバークラッドされた。クラッドガラス粒子の被覆がコンソリデートされ、そして基準部分と直径変化を有する部分から個別のファイバが延伸された。

【0085】DMファイバ(図22)からの光時分割反射率(OTDR)信号がその信号に周期的な低下を示し、それによって直径変動を表わす。トレースは適度にシャープな遷移を有する均一な部分を示している。周期の長さは約600メートルである。延伸母材の基準部分から延伸されたファイバは125μmのODと2.0kmの長さを有していた。図23Aに示されているように、基準ファイバは1500nmにおいてゼロ分散を呈示した。

【0086】延伸母材の炎で伸張された部分から130μmのODおよび3.6kmの長さに延伸されたDMファイバは図23Bに示されているように1525nmのゼロ分散波長を有する。延伸母材の炎で伸張された部分から120μmのODおよび4.0kmの長さに延伸されたDMファイバは図23Cに示されているように1544.5nmのゼロ分散波長を有する。したがって、延伸母材の炎で伸張された部分から125μmのODに延伸されたDMファイバは1535nmのゼロ分散波長を呈示するであろう。このことは、基準ファイバと比較して、約35nmのゼロ分散波長の平均シフトを示す(125μmファイバの場合)。したがって、分散が1500nmと1570nmの間で変動して1535nmの平均値を与えることが結論づけられ得る。カットオフ波長の同様の变化も観察された。これらの結果は、1500nm~1600nmの範囲内の入りの高い値と低い値を有するDMファイバが製造されたことを示す。

【0087】口背面反射データは、ファイバの直径変化

についてさえ、背面反射が一定直径のコアを有するファイバのそれよりほんのわずかに大きいことを示している。

【0088】(c) 可変クラッド直径を有するフォーム延伸母材：コア半径変化を導入する他の方法が図24Aおよび図24Bに示されている。この場合には、延伸母材187が研削、レーザー加工、エッチング等によってその長さに沿って所定の間隔で直径を減少される。このようにして得られた延伸母材は、比較的大径を有する予め選択された小長さ部分189と予め定められた小径の小長さ部分190を有している。コア領域188の直径は均一であることに注目されたい。続いて延伸母材187を延伸して均一な外径193を有するファイバ192とすることによって、延伸プリフォームの外表面からファイバのコア194に直径変化を伝える。図10Aおよび図10Bに関して説明したように、延伸母材の大径部分および小径部分のコアとクラッドの長さおよび直径を知れば、該当する延伸母材セグメントの質量の保存を明らかにすることによって、このようにして得られた光ファイバの対応する長さとして計算することができ、図24Bに示されているように、ファイバ192は、大径の延伸プリフォーム小長さ部分に対応した減少されたコア直径の小長さ部分1_iを含んでおり、ファイバ192の残部は大きいコア直径の小長さ部分1_jよりなる。コア直径を減少された小長さ部分は関連した全分散積 $d1_i \cdot D_i$ を有するセグメント $d1_i$ で構成されており、また大径小長さ部分は関連した全分散積 $d1_j \cdot D_j$ を有するセグメント $d1_j$ で構成されている。積 $d1_i \cdot D_i$ および $d1_j \cdot D_j$ の代数和は、予め定められた波長範囲Rにわたって、予め選択された値に等しい。

【0089】図25に示された実施例では、延伸母材201は一定直径のクラッド層203によって包囲された一定直径のコア202を具備している。コア直径は所定のゼロ分散波長を有するファイバ部分を与えるのに十分である。クラッドガラスのスリーブ205が延伸母材201にその長さに沿った周期的位置で融着されて、DMファイバが延伸され得る修正された延伸母材を形成する。図24Bに示されているように、このようにして得られた光ファイバは一定の外径を有し、かつコア直径はスリーブ203の周期性に従って変化するであろう。スリーブによって包囲された母材の領域から延伸されたファイバは、スリーブを有していない母材の領域よりも小さい直径のコアを有するであろう。DMファイバの小径部分の分散は所定のゼロ分散波長とは異なるゼロ分散波長を呈示するであろう。

【0090】図26の方法によれば、小径部分210、大径部分211、および長手方向中心軸に沿って延長している穴212を有する周期的な形状をしたクラッドガラス・スリーブが最初に準備される。スリーブ209は円筒状のガラスチューブを加工するかあるいは円筒状の

ガラスチューブにガラス・スリーブを融着するような技法で形成することができる。コア領域 214 と薄いクラッド層 215 を具備することが好ましいコア・プリフォーム 213 は、任意適当な方法で形成される。上述のように、このようにして得られた延伸母材が延伸されて、一定の外径と、スリーブ 211 の周期性に従って変化するコア直径を有する光ファイバとなされる。

【0091】図 25 および図 26 の方法は、延伸母材の周期性を導入する延伸母材の部分を整形する工程からコア・プリフォーム製造工程を分離する。米国特許第 4715679、米国特許出願第 08/323795 号、第 08/287262 号および第 08/378780 号に開示されているタイプの分散シフト・ファイバを作成する方法は、コア・プリフォームについての測定によって指示される同調工程を含む。コア・プリフォームのテーパリング (tapering) またはエッチングがその同調工程を複雑化するであろう。独立に作成されたスリーブを用いることによって、延伸母材を作成する方法はコア・プリフォーム同調処理に対する影響が最小となるであろう。

【0092】図 25 および図 26 の方法は、分散が異なる 2 つの領域間に極めてシャープな遷移を生ずるはずであり、このことは上述のように DM ファイバの望ましい特性である。

【0093】図 27 ~ 29 はコア領域 219 とクラッド 220 を有するコア・プリフォーム 218 を示している。研削、レーザー加工等によってプリフォーム 218 の表面に環状のスロット 221 が形成される。この方法によれば、スロット 221 はコア領域内に延長してはならない。バーナ 226 がクラッドガラス粒子の流れ 225 をプリフォーム 218 に送り、多孔質ガラス層 227 を堆積させる。

【0094】単一のスロットの拡大図が図 28 に示されている。221 の最大長 222 は約 1 ~ 2mm である。このような環状スロットを有する表面に衝突する流れ 225 の流れ条件が、そのスロット内に低密度のガラス粒子堆積を生ずる。図 28 におけるドットの密度が沈積されたガラス粒子の密度を表わしている。スロットの深さ 223 が増大するにつれて、堆積の密度が低下する。堆積の密度はガラス粒子の組成によっても影響される。柔らかいガラス粒子が稠密な堆積を形成することになる。このようにして、非常に高粘度のガラスである純粋なシリカの粒子がスロット 221 に非常に低い密度の堆積を形成する。実際、空乏でさえ粒子沈積条件に依存してスロット 221 内に形成することになり得る。層 227 がシングルモード光ファイバのクラッドを形成するのに十分な厚さに堆積された後に、このようにして得られたプリフォームがコンソリデート (乾燥および焼結) される。この工程は、ヘリウムとガラス粒子を脱水するための少量の塩素の雰囲気内で行なわれる。爾後の高温焼結工程時に空乏を脱気するために焼結処理に先立って、プリフォ

ームを純粋なヘリウム内に入れてもよい。焼結された延伸母材は、ガラス粒子がスロット上に沈積された小径の小長さ部分を有している。延伸母材が延伸されてシングルモード・ファイバ 241 となされた場合には、コアは小径の領域 242 と、スロットが形成された延伸母材の領域に対応した大径領域 243 を含んでいる。

【0095】非常に短い遷移領域を生ずる方法が図 30A および図 30B に示されている。2 つの異なるコア・プリフォームが米国特許第 4486212 号に開示されているような方法で作成される。両方のコア・プリフォームとも分散シフト・ファイバを生ずるタイプのコア屈折率プロファイルを有している。第 1 のコア・プリフォームは、クラッドを設けられ延伸されて 125 μm OD を有するシングルモードのファイバとなされたとした場合、1520nm でゼロ分散を呈示するようになされている。第 2 のプリフォームは、それが同様に 125 μm OD のシングルモード・ファイバとなされた場合、そのゼロ分散波長が 1570nm となるようになされている。両方のコア・プリフォームとも伸張されて 7.5mm より若干小さい直径となされる。第 1 の伸張されたプリフォームがカットされてタブレット 250 となされ、そして第 2 の伸張されたプリフォームがカットされて、タブレット 250 と同じ長さを有することが好ましいタブレット 252 となされる。

【0096】毛細管の短い長さ 264 が、7.5mm の内径 (ID) と 9mm の OD を有するシリカチューブの一端部に融着される。チューブ 266 は、多孔質シリカ被覆 268 を形成するために図 10B の方法でシリカ粒子をオーバークラッドされる。層 268 は、このようにして得られたプリフォームがコンソリデートされ、そして延伸されて 125 μm OD シングルモード・ファイバとなされるのに十分な OD まで堆積される。タブレット 250 および 252 が交互にチューブ 266 に挿入される。チューブ 270 はチューブ 264 とは反対側のチューブ 266 の端部に融着される。チューブ 270 は米国特許第 5180410 号に開示されたタイプのボールジョイント型ガス供給装置の一部分である。

【0097】このようにして得られたアセンブリ 272 がコンソリエーション用炉内に懸下される。このアセンブリ 272 は 1rpm で回転されながら、毎分 5mm の速度でコンソリエーション用炉マッフル内に下降される。50sccm 塩素および 40slpm ヘリウムを含むガス混合物がマッフル中を上方に流れる。塩素 (矢印 276) はタブレット 250 および 252 のまわりを下方に流れ、そしてチューブ 264 を通って排出される。0.3slpm 塩素のセンターライン流が適当である。コンソリエーション用炉内の最高温度は約 1450°C である。アセンブリ 272 は、下方に移動して炉内に入ると、センターライン塩素流がタブレット 250 および 252 とチューブ 266 の隣接した表面を化学的に浄化するのに十分なだけ高い温度を

受ける。アセンブリ 272 が炉マッフル内にさらに移動すると、チューブ 264 が融着してセンターライン塩素流を遮断する。その後で、チューブ 266 内の真空を引くために弁が切換えられる。アセンブリ 272 は炉マッフル内への移動を継続して、まずそのアセンブリの先端部がそしてその次に残部が、被覆 268 をコンソリデートさせるのに十分な最高炉温度を受ける。被覆 268 のコンソリデーション時に、チューブ 266 がタブレット 250 および 252 に対して内方に押しつけられ、そして接触面が融着された状態となる。

【0098】融着されたアセンブリがコンソリデーション用から取り出され、そして 125 μm の OD を有する分散管理光ファイバを形成するように延伸される。

【0099】上記の方法で作成されるシングルモード分散管理光ファイバは混乱を伴うことになり延伸され、減衰は典型的には 0.21 dB/km であった。このファイバ作成方法で用いられた 2 つの異なるタイプのタブレットが結合して 1550 nm のゼロ分散波長を与えた。振動長と周期がそれらのコア・プリフォーム・タブレットの長さによってコントロールされた。1.2~2.5 km の振動長を有するフ

【図面の簡単な説明】

【図 1】導波路ファイバ長に沿って変化する全分散の図である。

【図 2】導波路の全分散を予め定められた波長窓にわたって予め定められた範囲内に維持するために導波路ファイバのゼロ分散がどのように変化するかを示している。

【図 3】予め選択された波長範囲にわたって 2 モード導波路分散を有する導波路ファイバの図である。

【図 4】2 モード導波路分散に近似した単純な設計における % 屈折率デルタ対半径の関係を示す図である。

【図 5 A】低い全分散値を有する特定の小長さ部分よりなるシステムのパワー・ペナルティ対入力パワーの関係を示す図である。

【図 5 B】高い全分散値を有する特定のシステムのパワー・ペナルティ対入力パワーの関係を示す図である。

【図 6】全分散対パワー・ペナルティの関係を示す図である。

【図 7】分散変化周期長対パワー・ペナルティの関係を示す図である。

【図 8】遷移領域長対パワー・ペナルティの関係を示す図である。

【図 9】ファイバを延伸しかつ保護被覆を添着する前にファイバに照射するための装置の概略図である。

【図 10 A】減少した直径を有するコア・プリフォームの縦断面を示している。

【図 10 B】コア・プリフォームに対してクラッドガラス粒子を添着している状態を示している。

【図 10 C】コア・プリフォームにおける直径変化の結

果として延伸母材の表面に存在しうるアンジュレーションを示している。

【図 10 D】図 10 A のコア・プリフォームの縦断面を、円筒状外表面を有するオーバークラッド層とともに示している。

【図 11 A】コア・プリフォームの直径を周期的に減少させる方法を示している。

【図 11 B】図 11 A のバーナ炎の温度分布である。

【図 12】図 11 A のコア・プリフォームの拡大断面図である。

【図 13】加熱されかつ延伸されるべき領域に隣接したコア・プリフォームの領域を冷却している状態を示している。

【図 14】コア・プリフォームの狭い部分に対してバーナ炎を閉じ込めるための装置を示している。

【図 15】コア・プリフォームのスロット領域を加熱している状態を示している。

【図 16】コア・プリフォームをレーザビームで加熱している状態を示している。

【図 17】コア・プリフォームにスロットを加工するためにレーザビームが使用され得ることを示している。

【図 18】熱伝導スリーブを使用することを示している。

【図 19】異なる直径の領域を周期的に形成するためにコア・プリフォームが加熱されかつ膨出され得ることを示している。

【図 20】コア・プリフォームを延伸して異なる直径の領域を周期的に形成する方法を示している。

【図 21】コア・プリフォームを延伸して異なる直径の領域を周期的に形成する方法を示している。

【図 22】ファイバ・コアの直径変動を表わす信号における周期的な低下を示す、分散管理ファイバからの光時分割反射率信号のグラフである。

【図 23 A】異なるコア直径を有する光ファイバの分散対波長の関係を示すグラフである。

【図 23 B】異なるコア直径を有する光ファイバの分散対波長の関係を示すグラフである。

【図 23 C】異なるコア直径を有する光ファイバの分散対波長の関係を示すグラフである。

【図 24 A】減少された直径の長さ部分を有する延伸母材の縦断面である。

【図 24 B】図 24 A の延伸母材を延伸して得られた外径が本質的に一定の導波路の縦断面図である。

【図 25】異なる直径の長さ部分を形成するために延伸母材にスリーブを付加する方法を示している。

【図 26】異なる直径の長さ部分を有する延伸母材を形成するためにスリーブ状のクラッド・チューブにコア・プリフォームを挿入する方法を示している。

【図 27】可変コア直径分散管理ファイバを延伸し得る可変直径延伸母材を形成する他の方法を示している。

・【図 28】 可変コア直径分散管理ファイバを延伸し得る可変直径延伸母材を形成する他の方法を示している。

【図 29】 可変コア直径分散管理ファイバを延伸し得る可変直径延伸母材を形成する他の方法を示している。

【図 30 A】 非常に短い遷移領域を生ずる方法を示している。

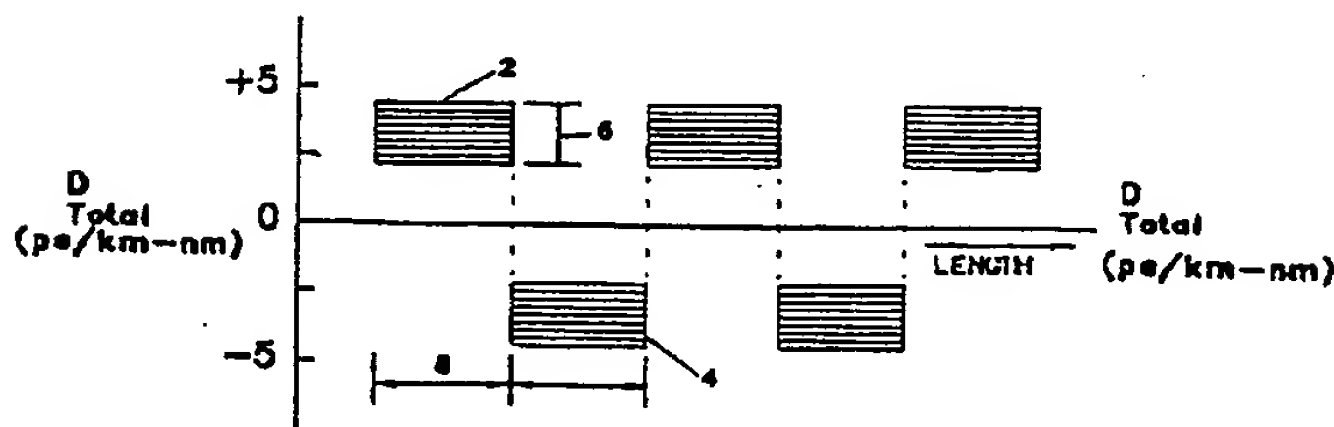
【図 30 B】 非常に短い遷移領域を生ずる方法を示している。

【符号の説明】

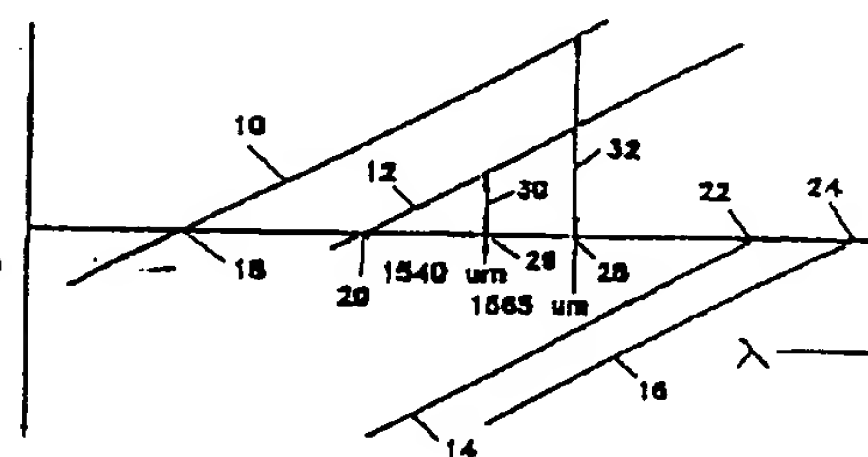
8 2 ガラスコア・プリフォーム
8 6 バーナ
8 8 クラッドガラス粒子の層
8 9 コンソリデートされたプリフォーム
9 3 コア・プリフォーム
9 4 クラッドガラスの層
9 5 コア領域
1 1 6 コア・プリフォーム
1 4 6 コア・プリフォーム
1 5 1 コア・プリフォーム
1 5 3 クラッド部分
1 5 4 レーザービーム
1 5 6 小径領域
1 6 0 コア・プリフォーム
1 6 2 熱伝導スリーブ
1 6 5 コア・プリフォーム

1 6 6 膨出部
1 7 0 コア・プリフォーム
1 7 2 小径領域
1 7 3 大径領域
1 7 8 コア・プリフォーム
1 8 1 コア・プリフォーム
1 8 7 延伸母材
1 8 9 比較的大径を有する予め選択された小長さ部分
1 9 0 予め定められた小径の小長さ部分
10 1 9 2 ファイバ
2 0 1 延伸母材
2 0 2 一定直径のコア
2 0 3 一定直径のクラッド層
2 0 5 スリーブ
2 0 9 スリーブ
2 1 0 小径部分
2 1 1 大径部分
2 1 4 コア領域
2 1 5 クラッド層
20 2 1 9 コア領域
2 2 0 クラッド
2 2 1 スロット
2 4 1 シングルモード・ファイバ
2 4 2 小径の領域
2 4 3 大径領域

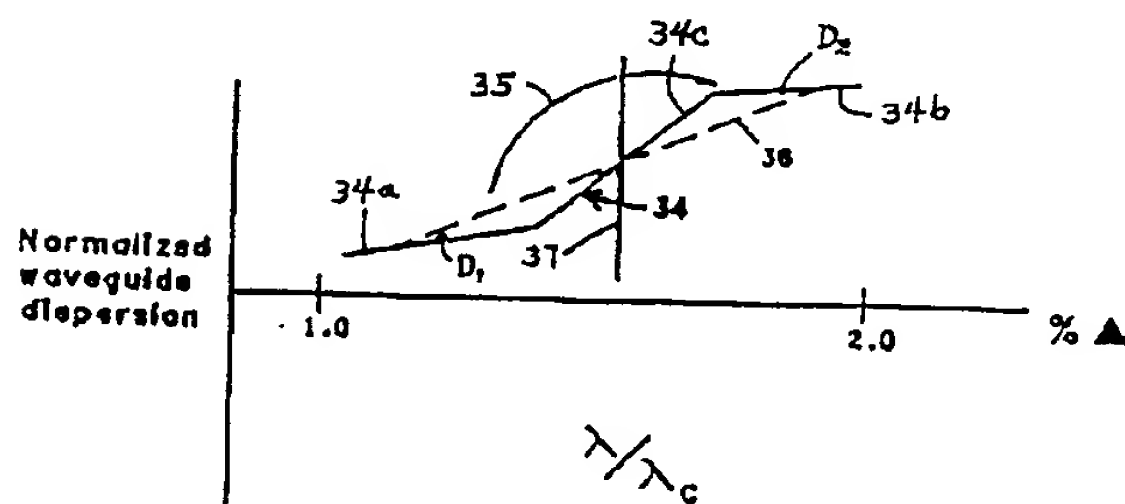
【図 1】



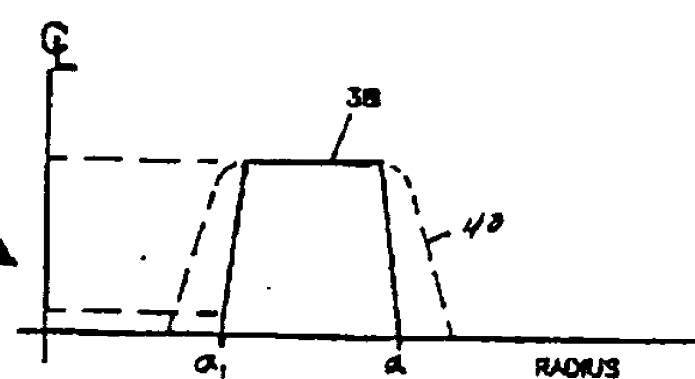
【図 2】



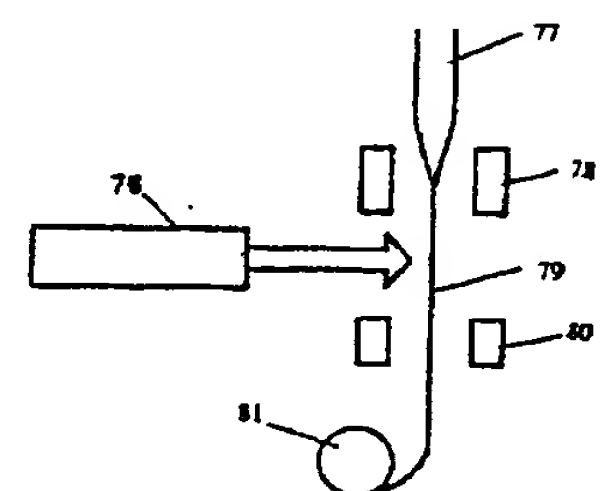
【図 3】



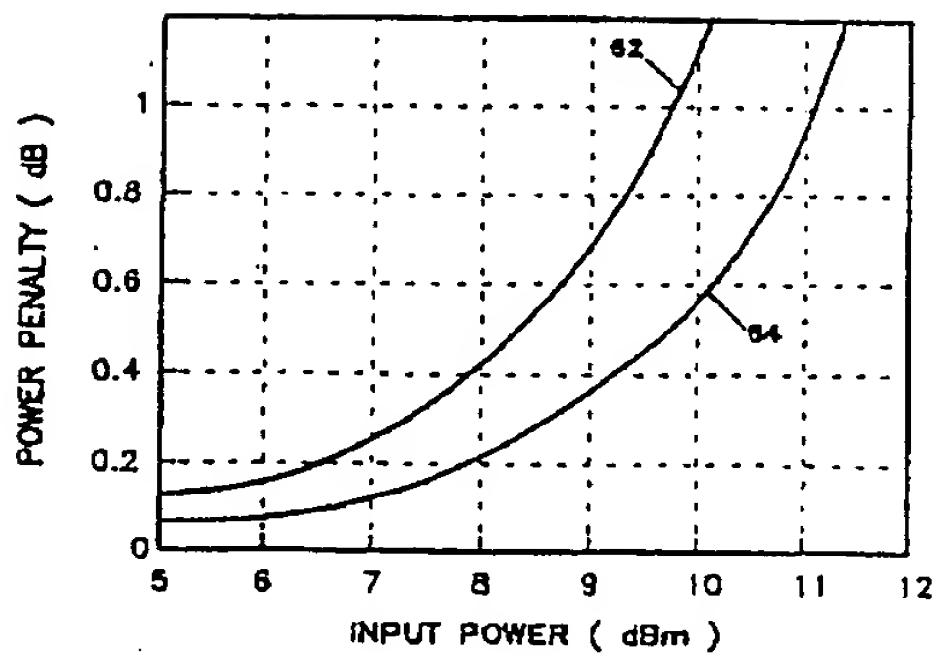
【図 4】



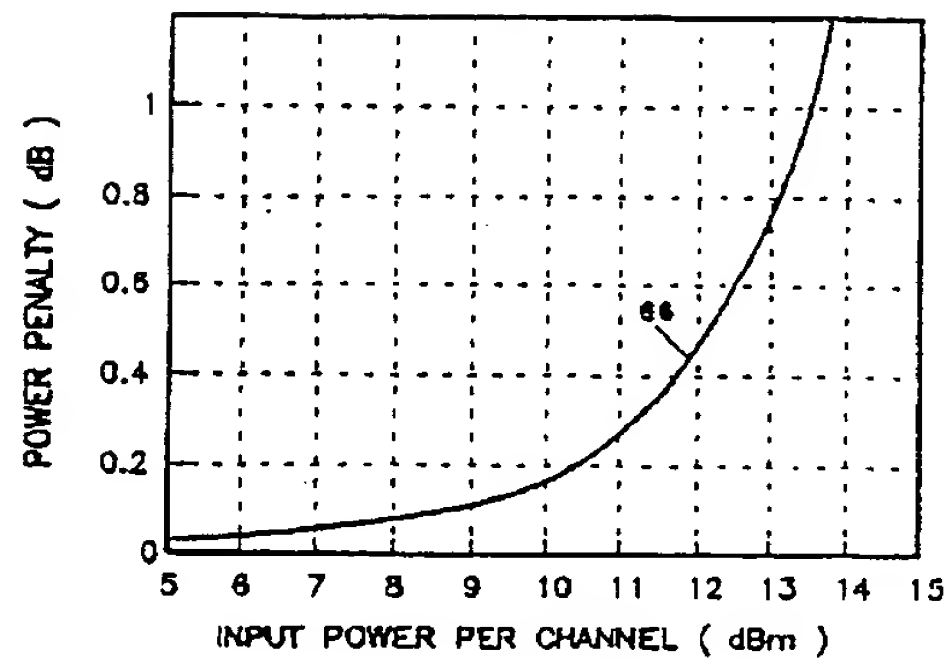
【図 9】



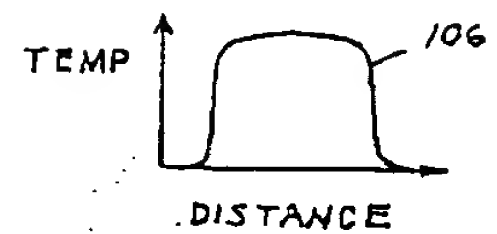
【図 5 A】



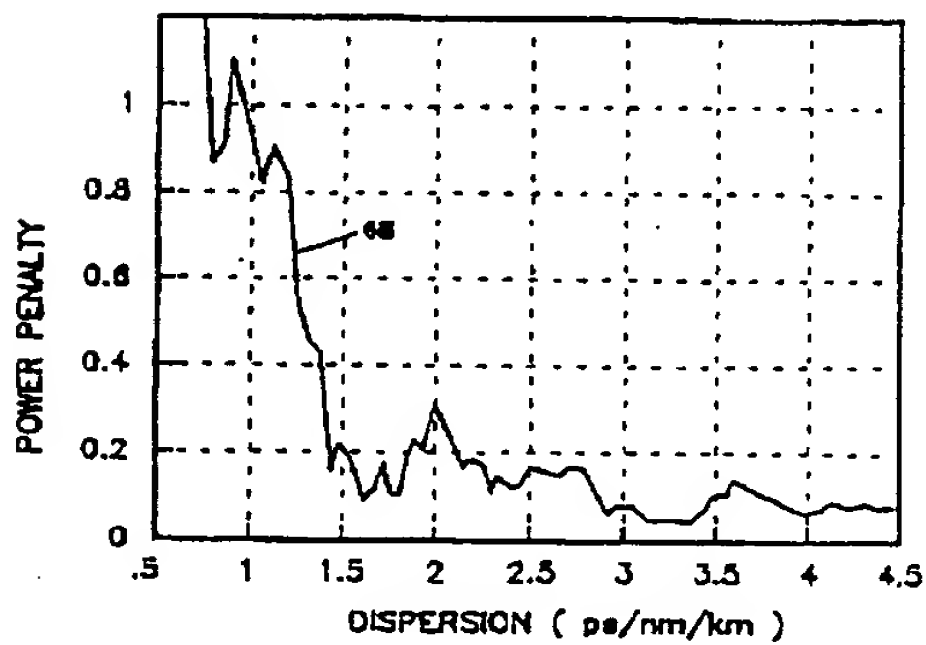
【図 5 B】



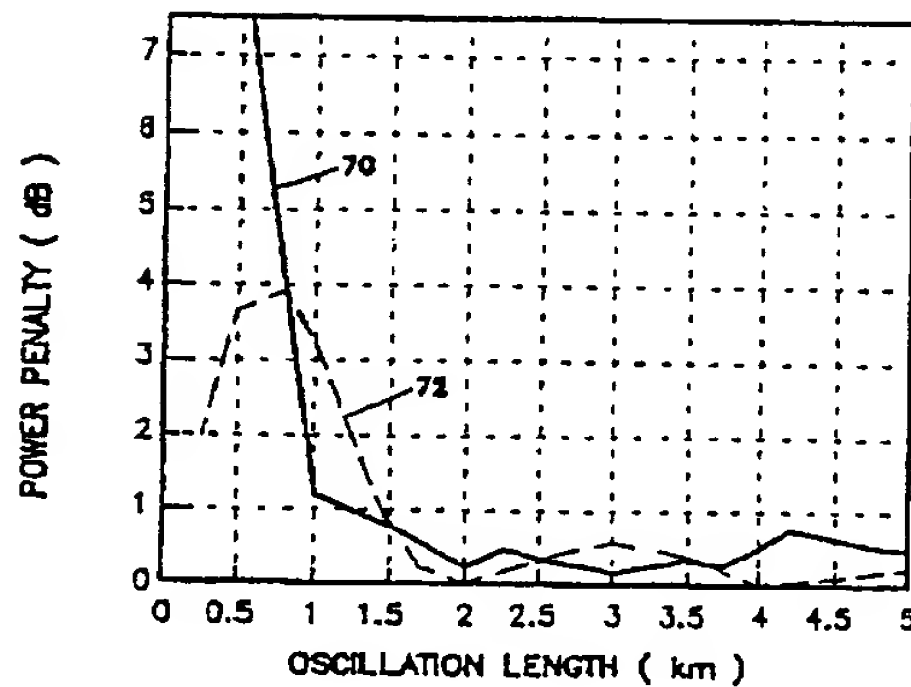
【図 11 B】



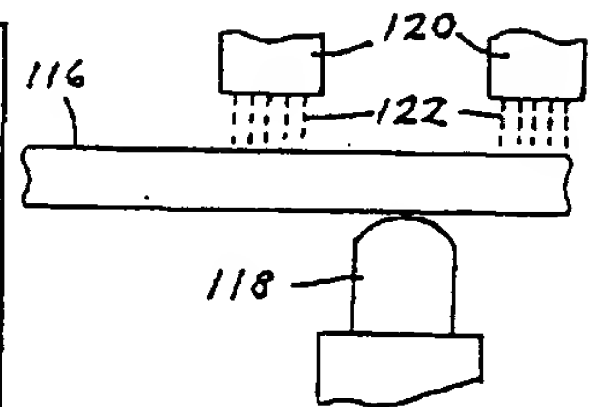
【図 6】



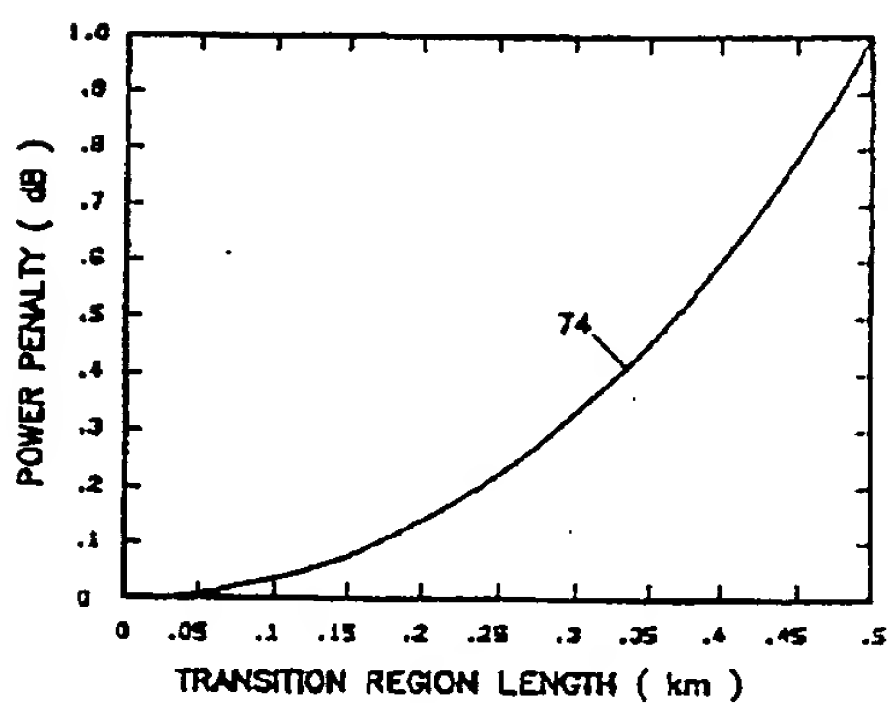
【図 7】



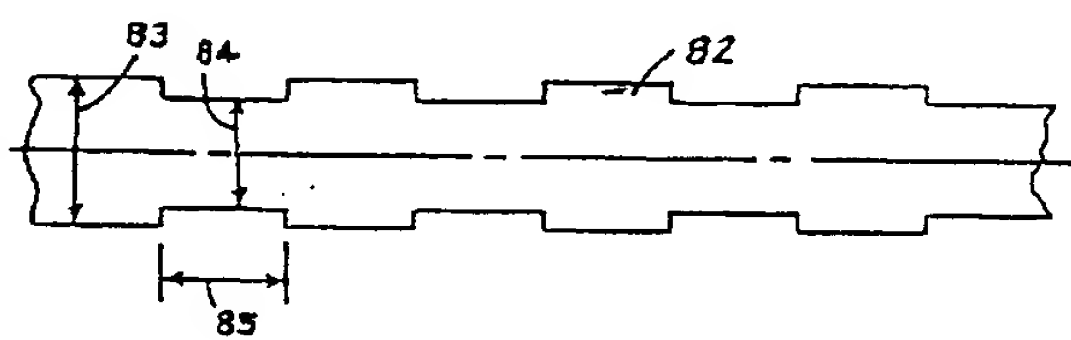
【図 13】



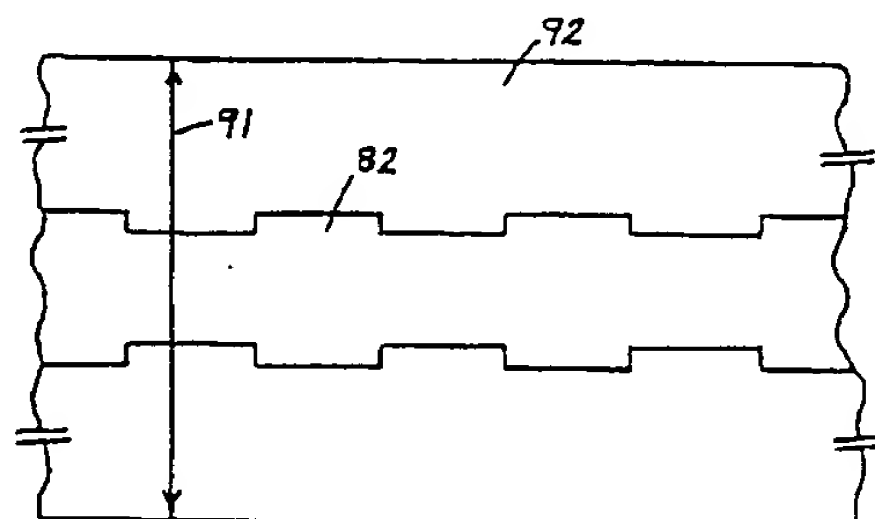
【図 8】



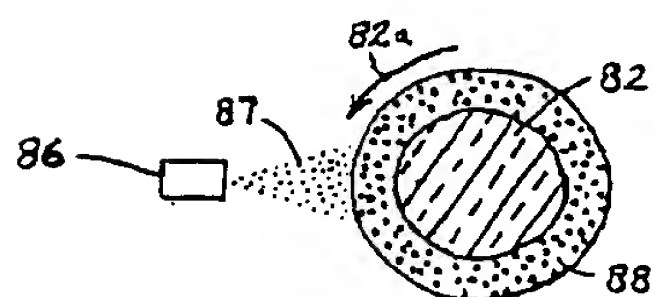
【図 10 A】



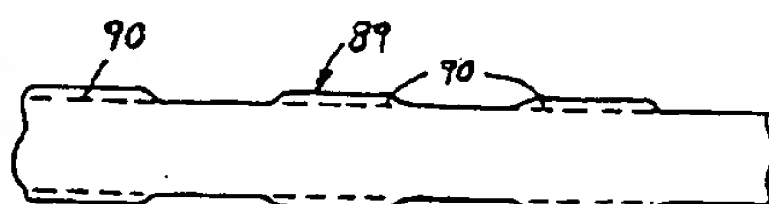
【図 10 D】



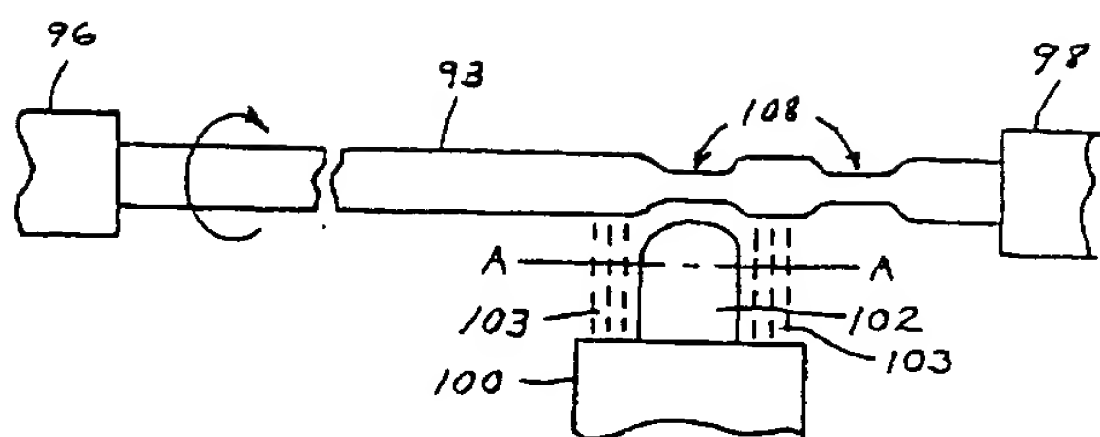
【図 10 B】



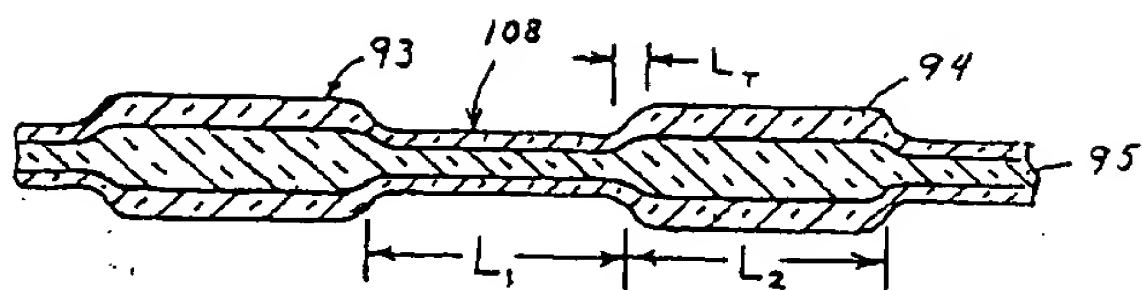
【図 10 C】



【図11A】

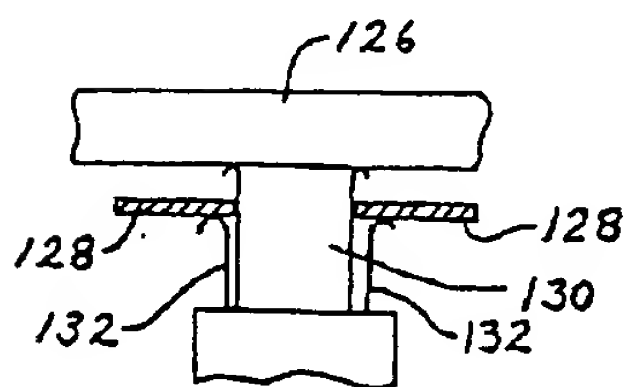


【図12】

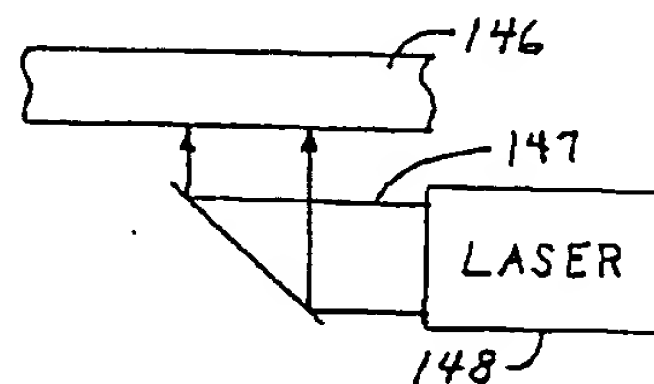
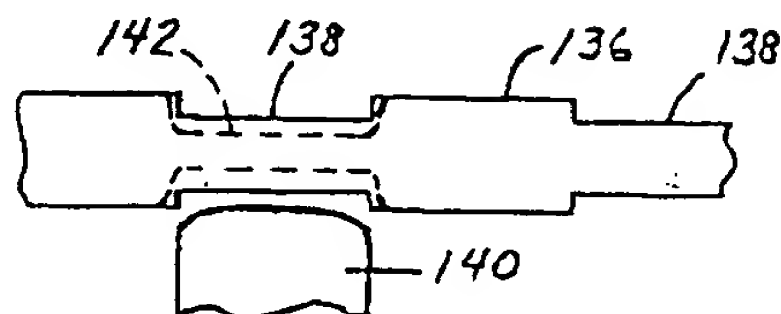


【図16】

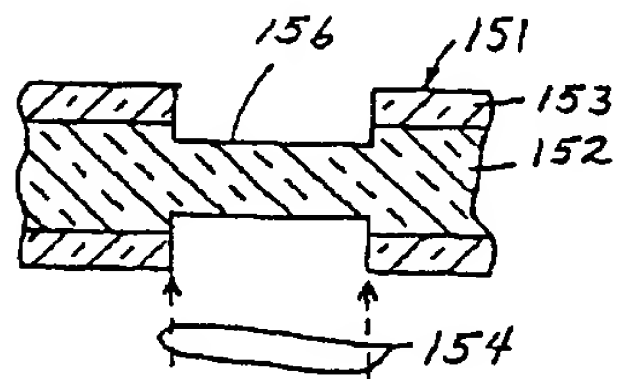
【図14】



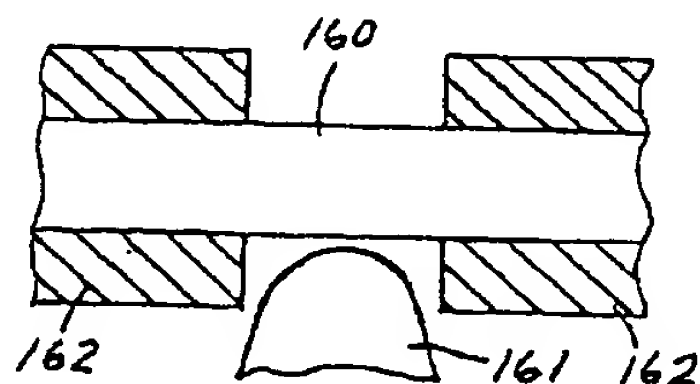
【図15】



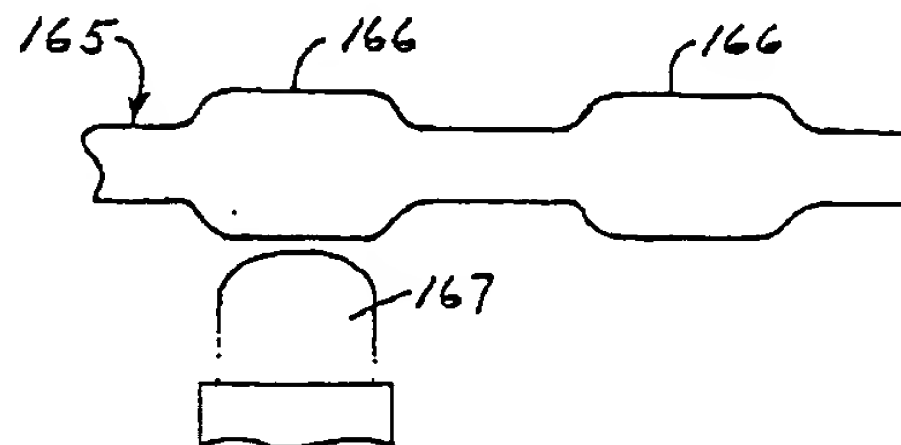
【図17】



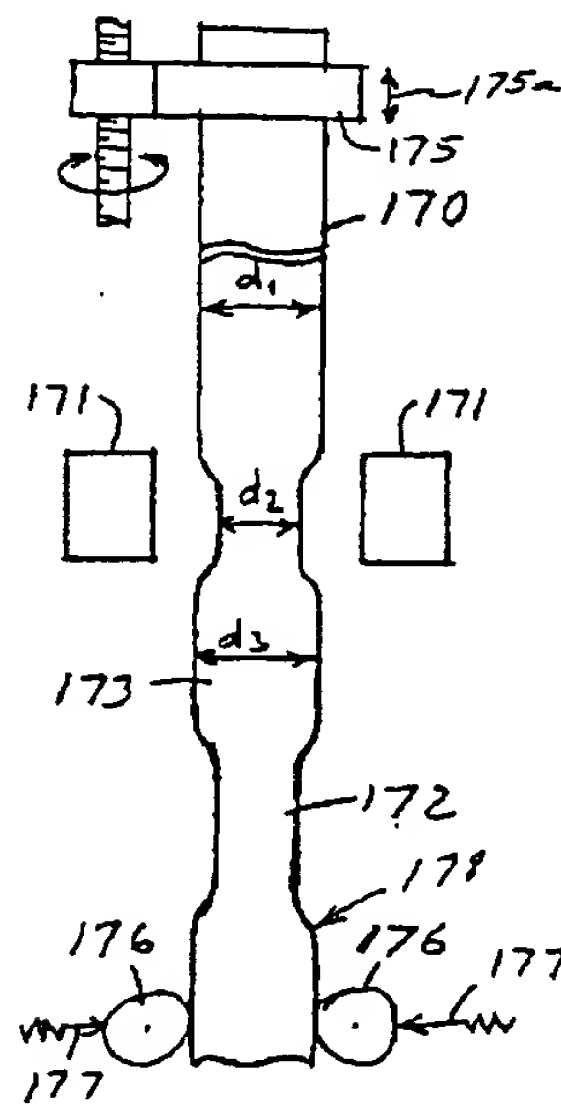
【図18】



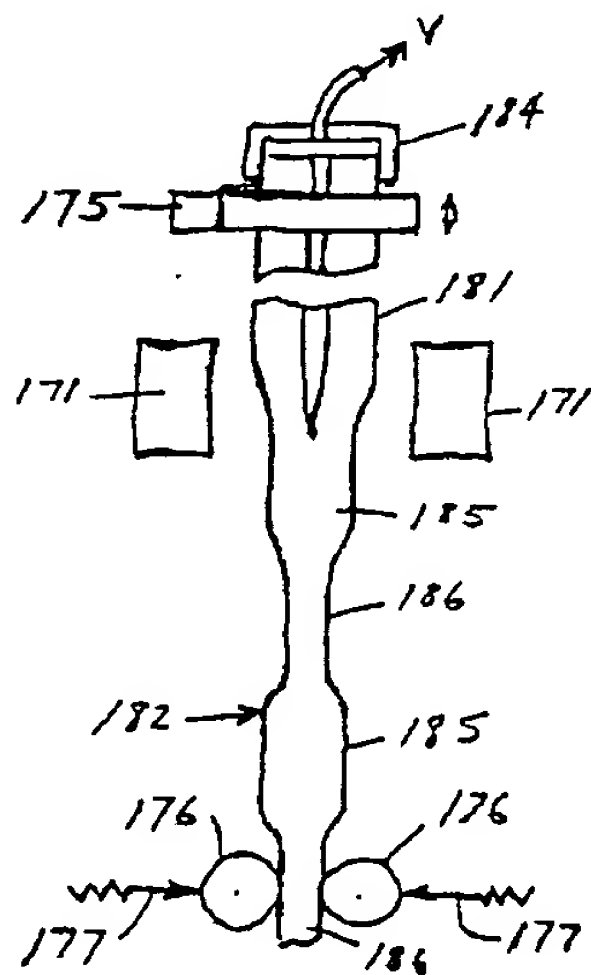
【図19】



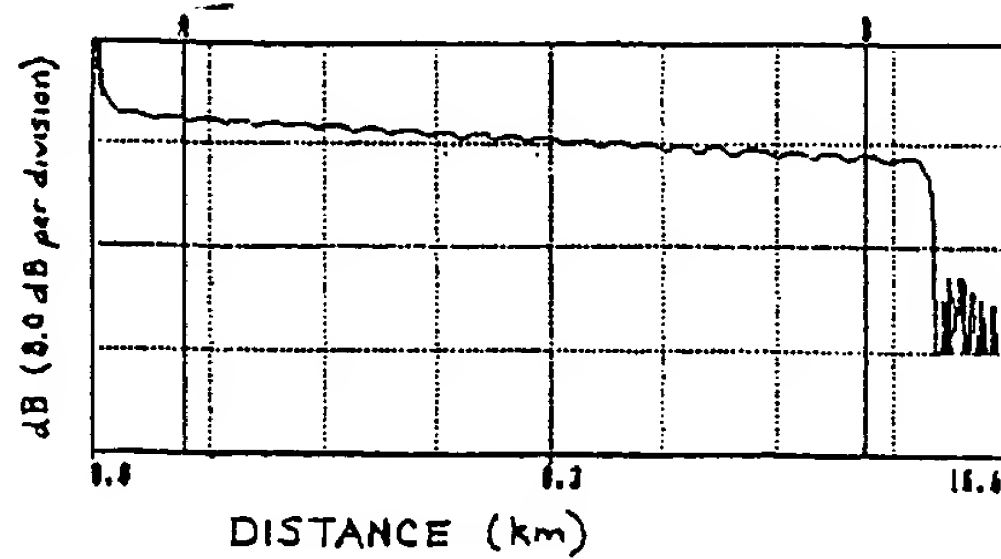
【図20】



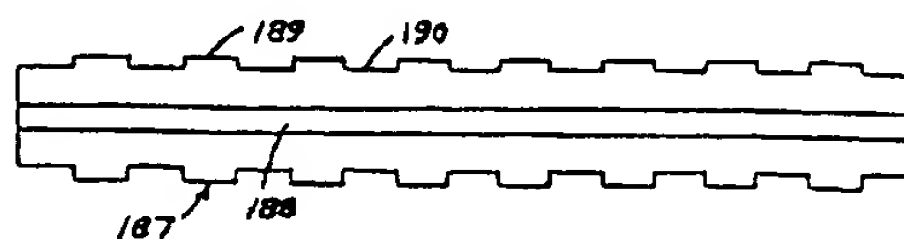
【図21】



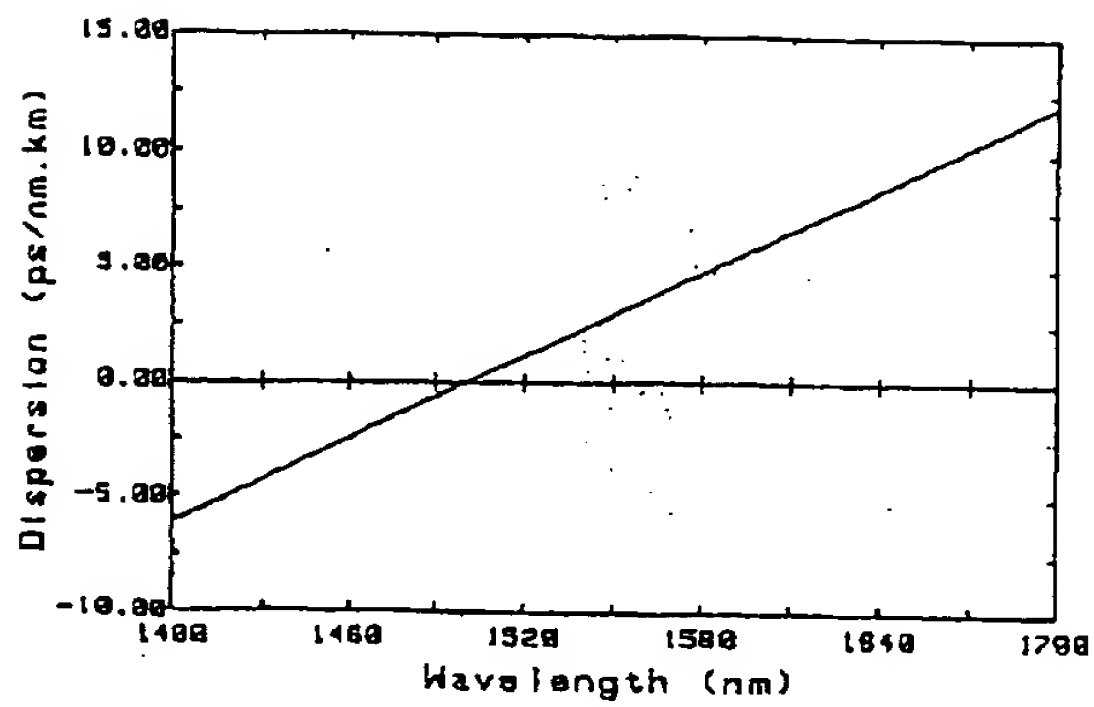
【図22】



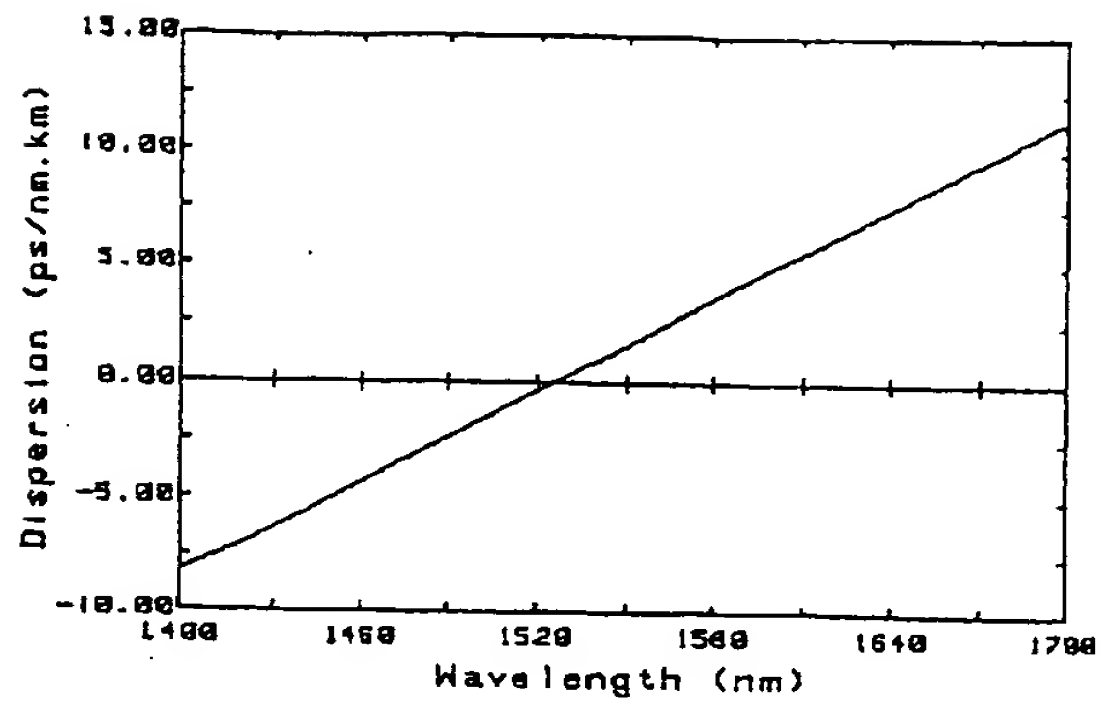
【図24A】



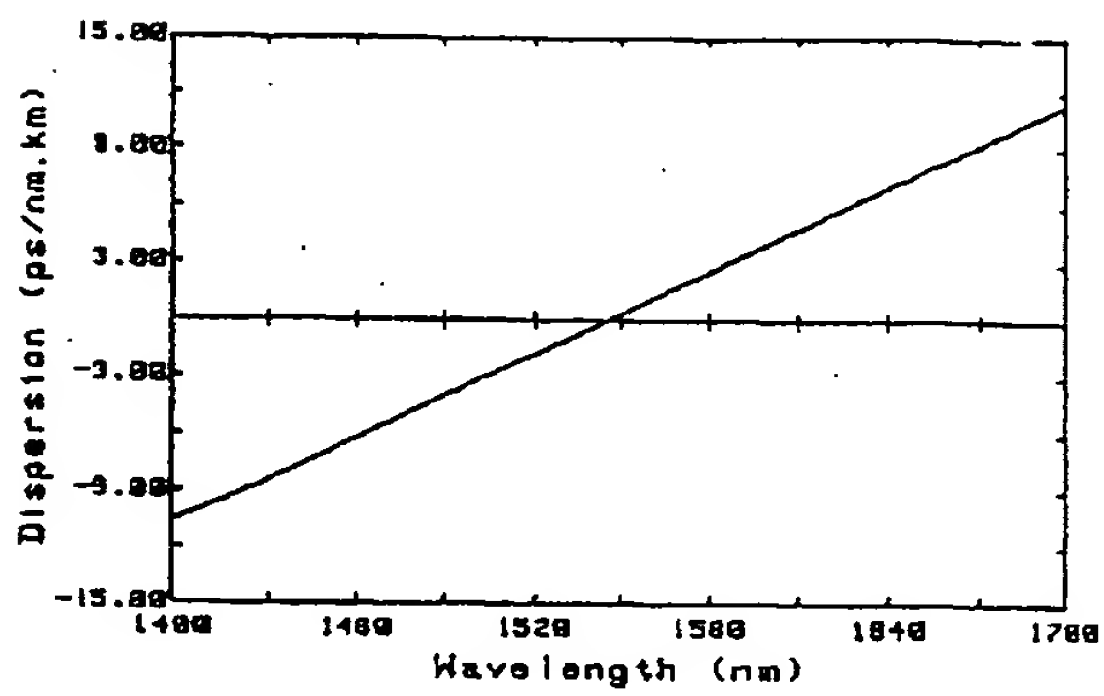
【図23A】



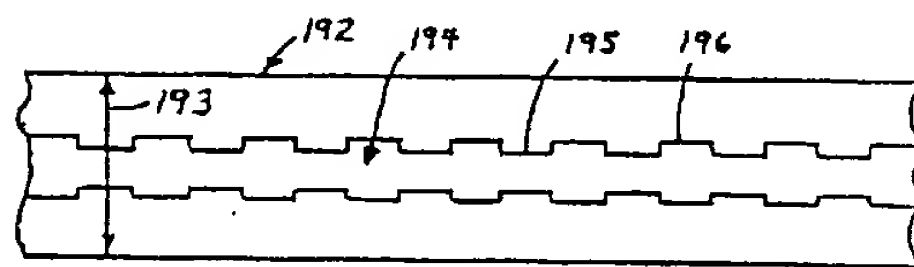
【図23B】



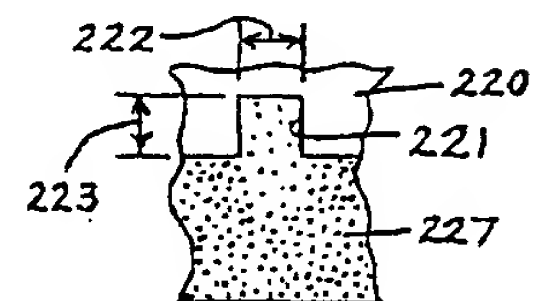
【図23C】



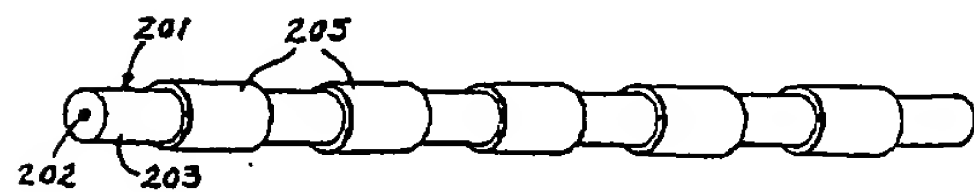
【図24B】



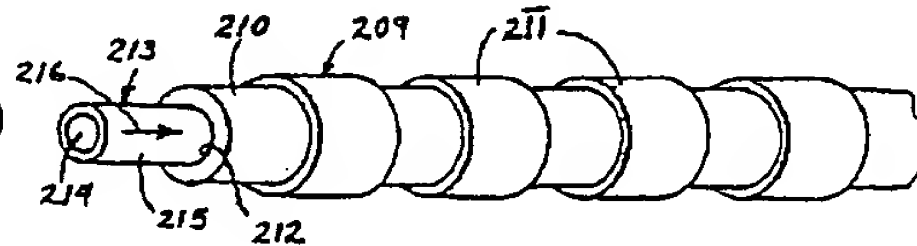
【図28】



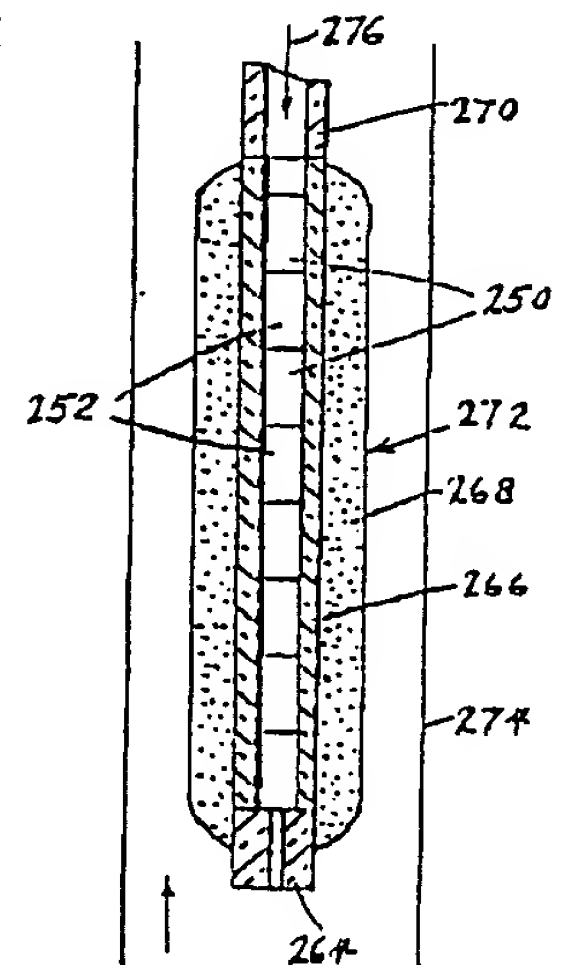
【図25】



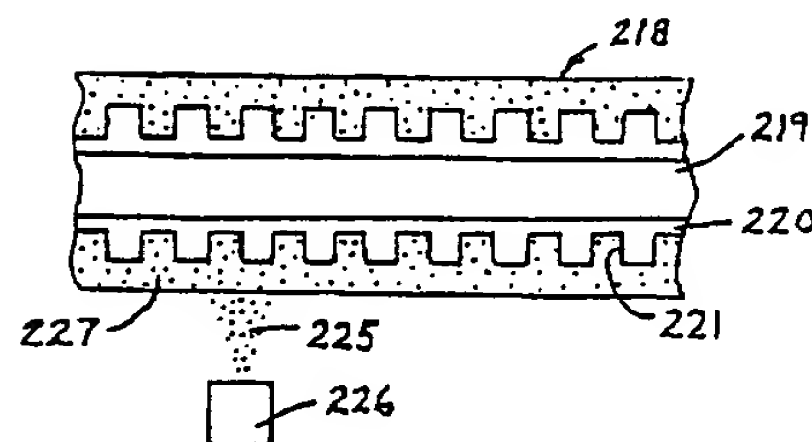
【図26】



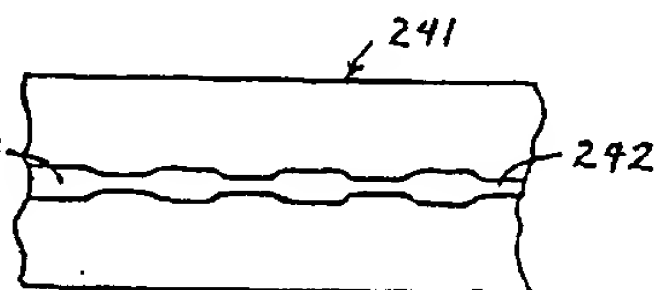
【図30A】



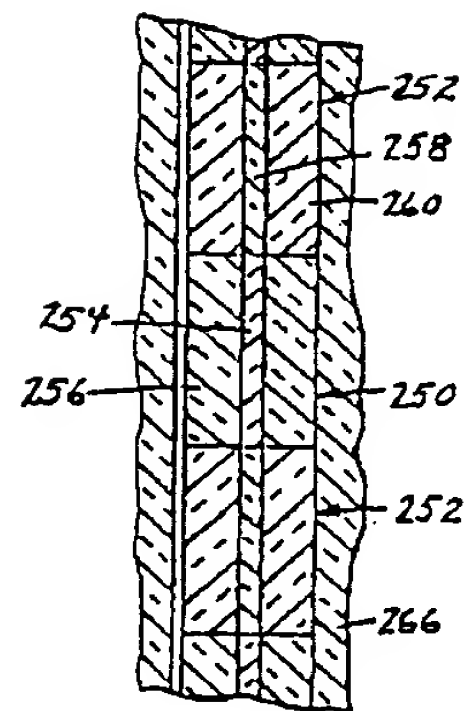
【図27】



【図29】



【図30B】



【手続補正書】

【提出日】平成8年6月6日

【手続補正1】

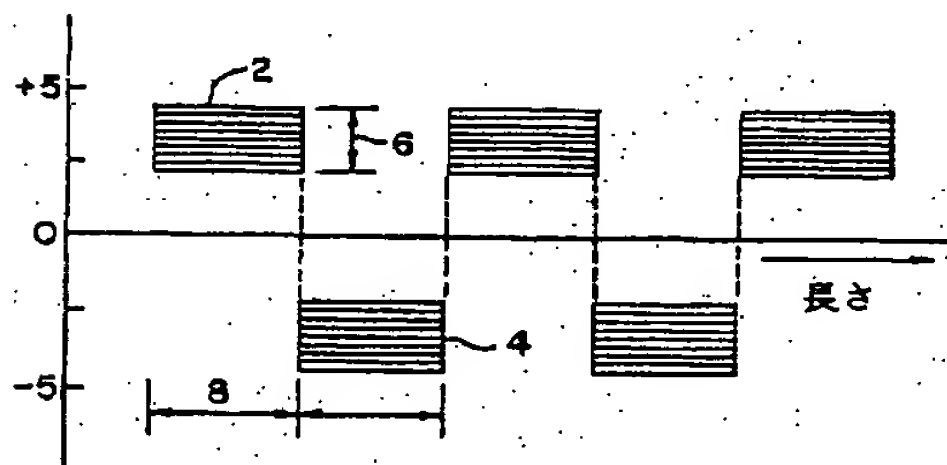
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】全図

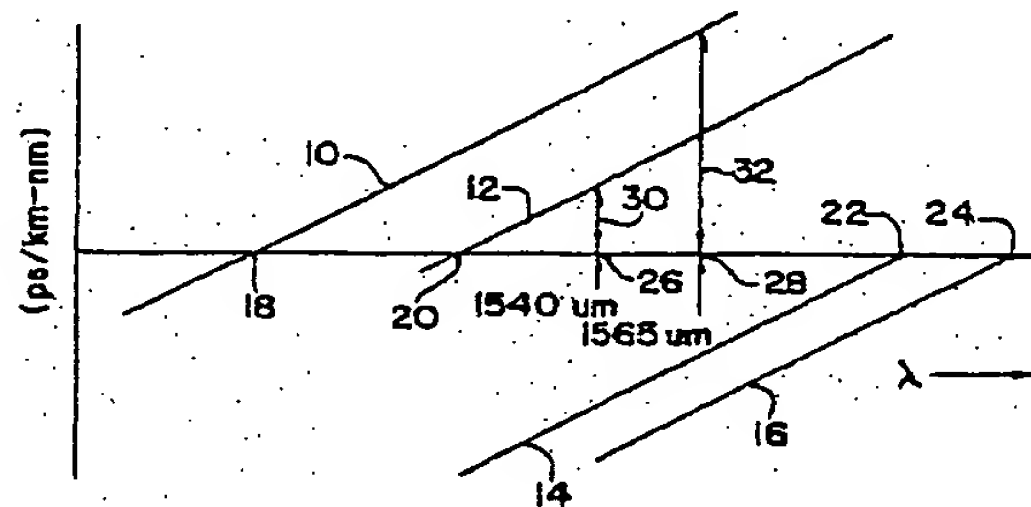
【補正方法】変更

【補正内容】

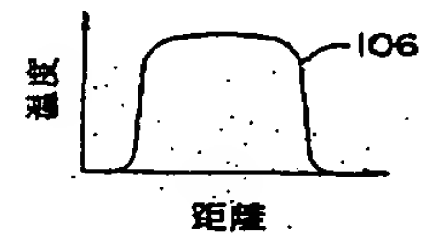
【図1】



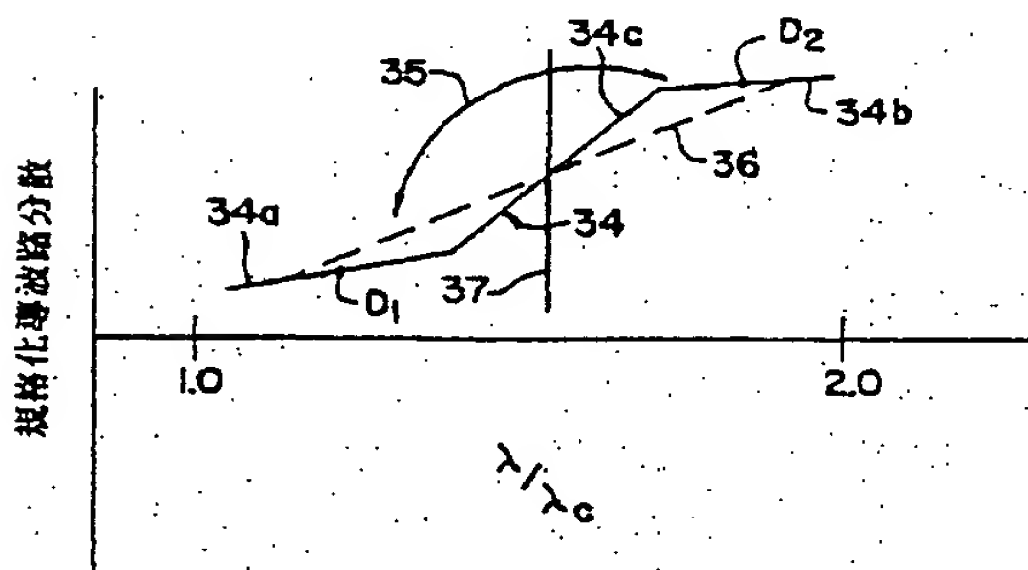
【図2】



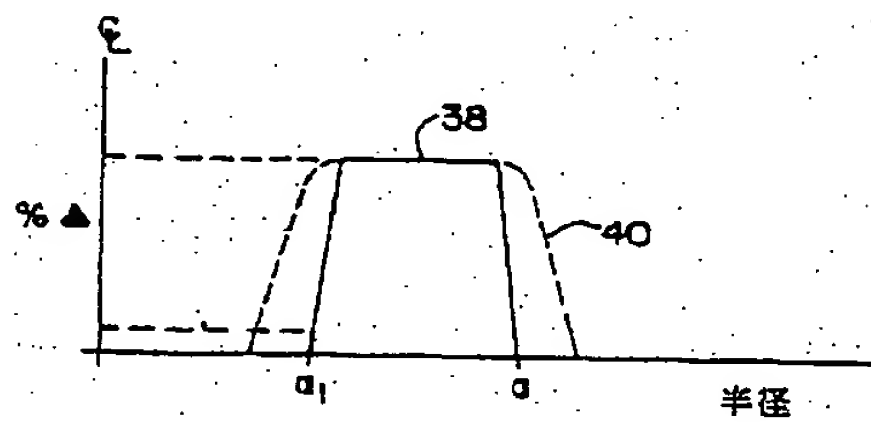
【図11B】



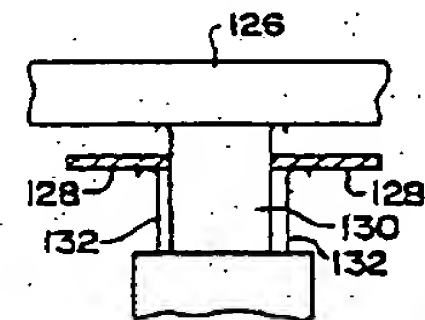
【図3】



【図4】

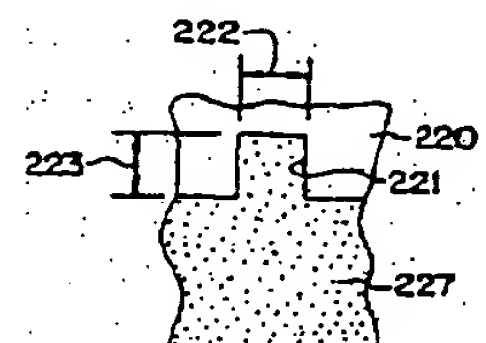
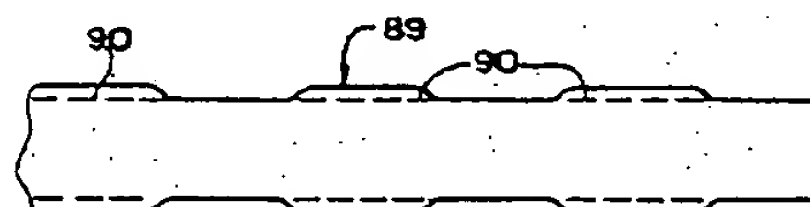


【図14】

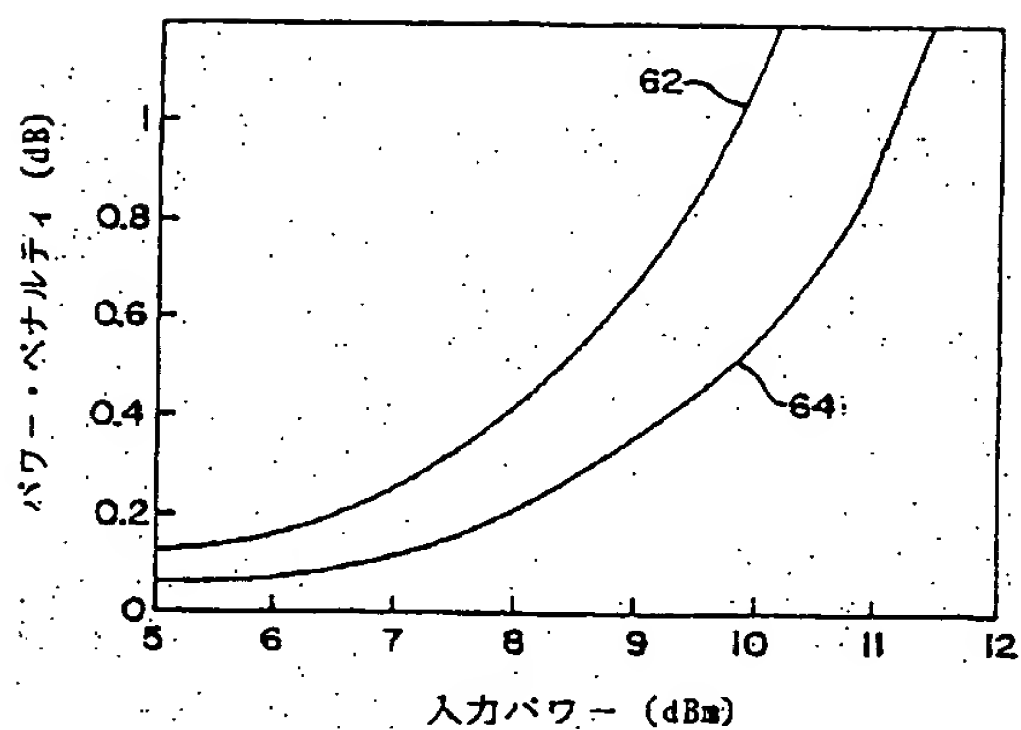


【図28】

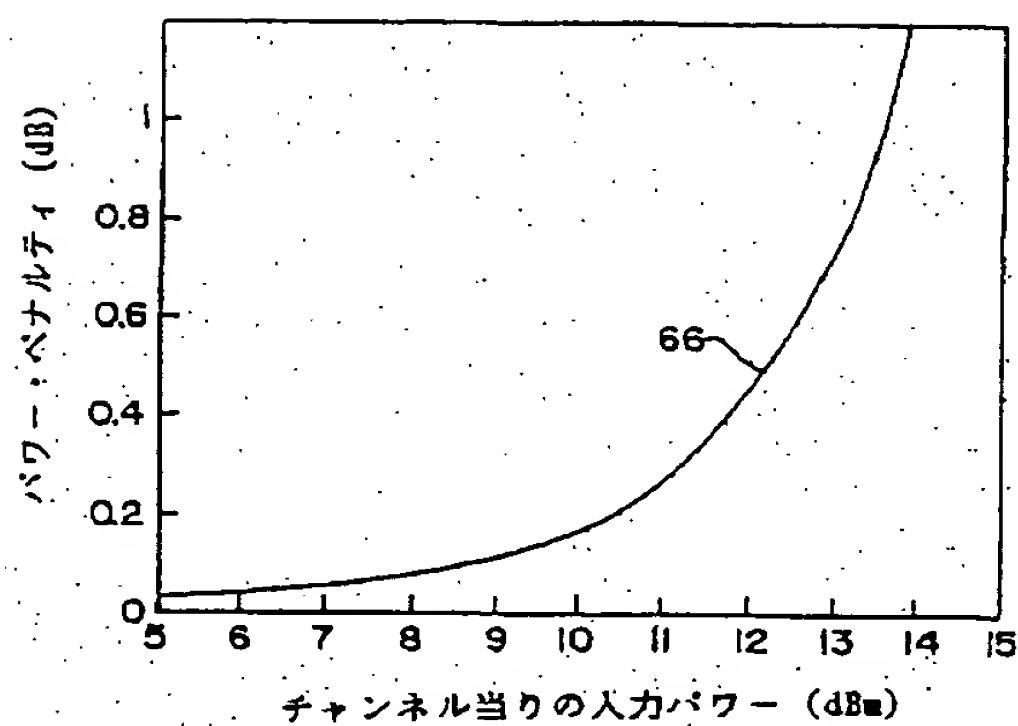
【図10C】



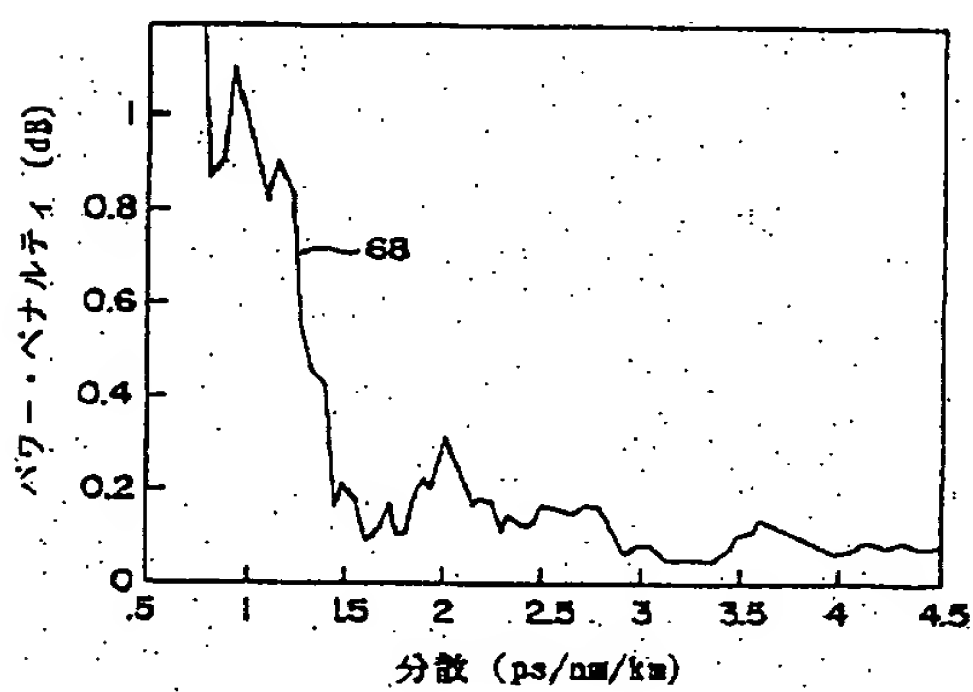
【図5A】



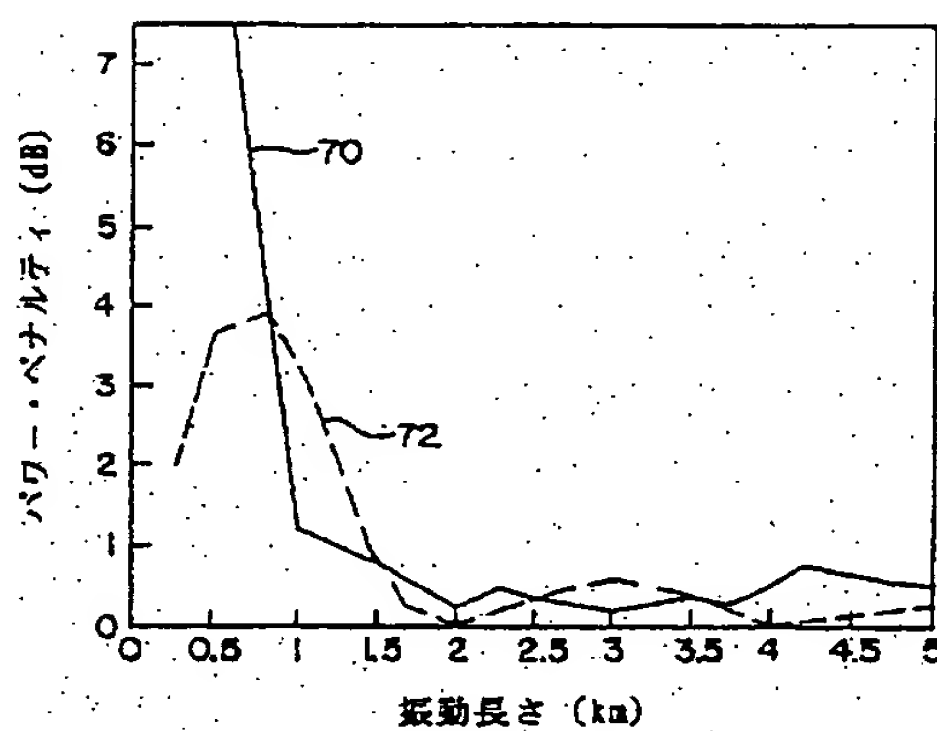
【図5B】



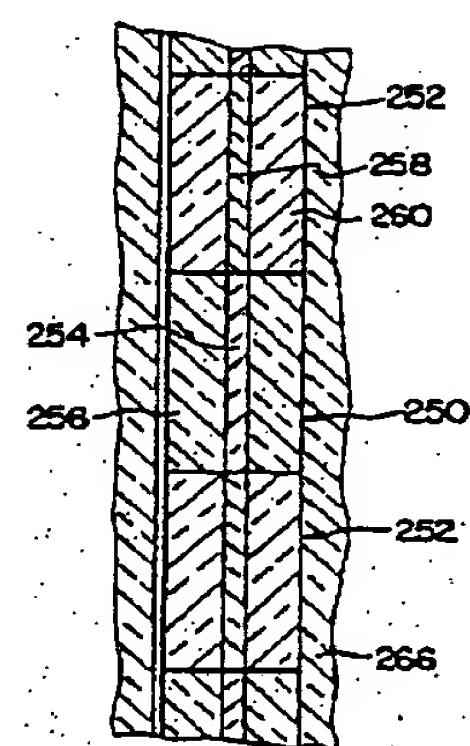
【図6】



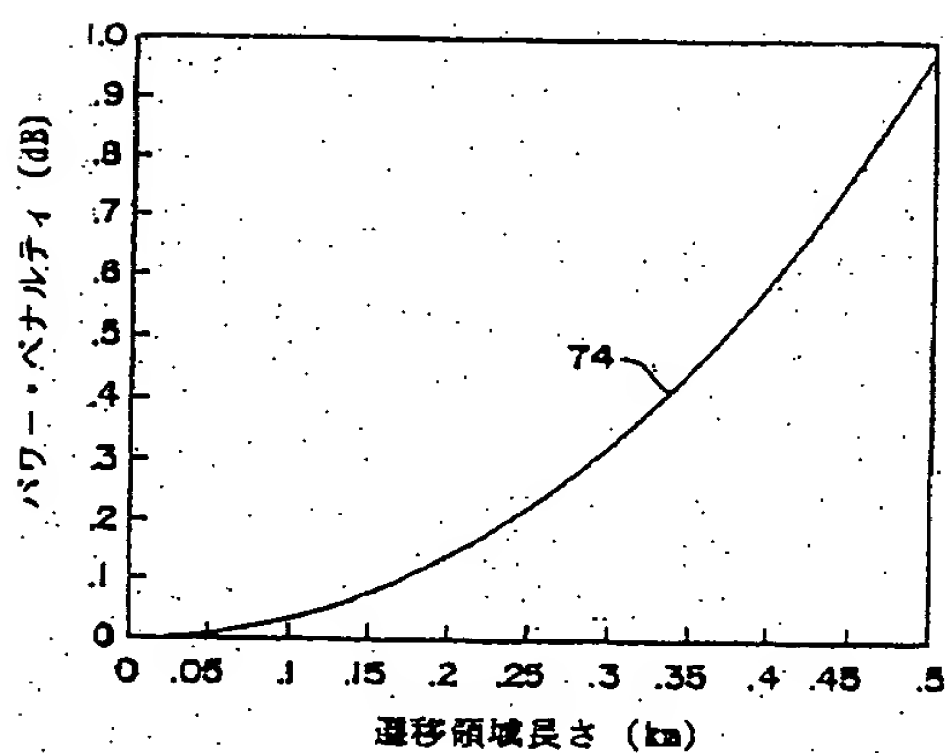
【図7】



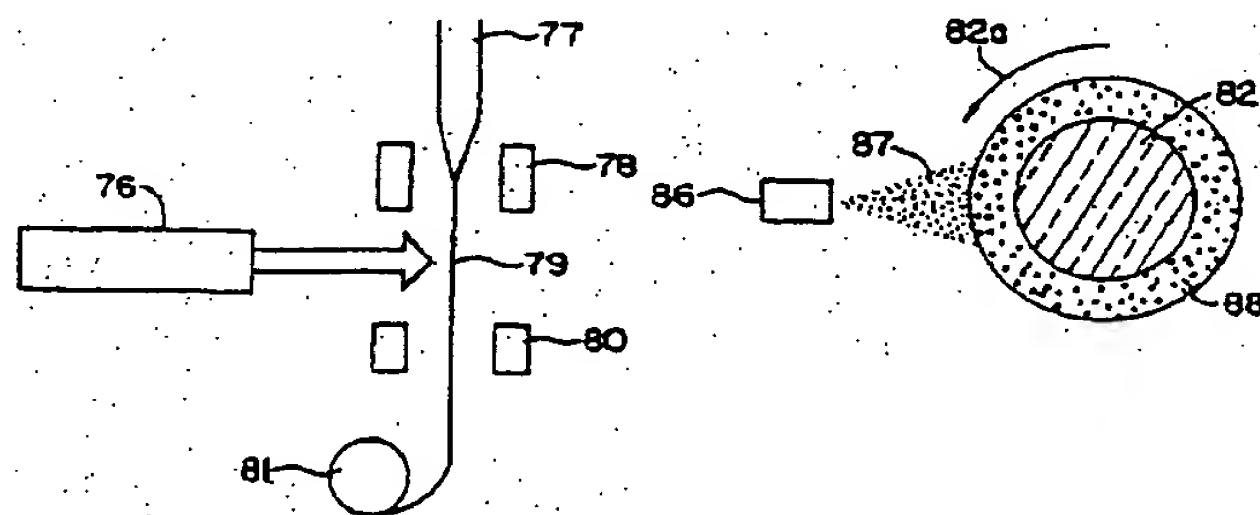
【図30B】



【図8】

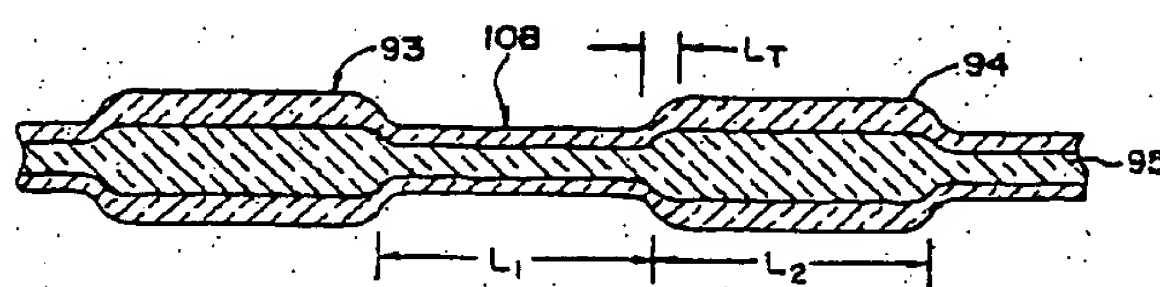


【図9】

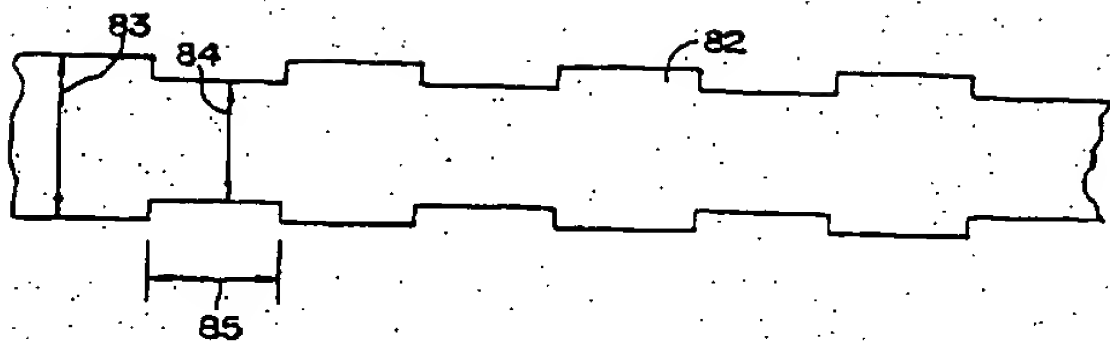


【図10B】

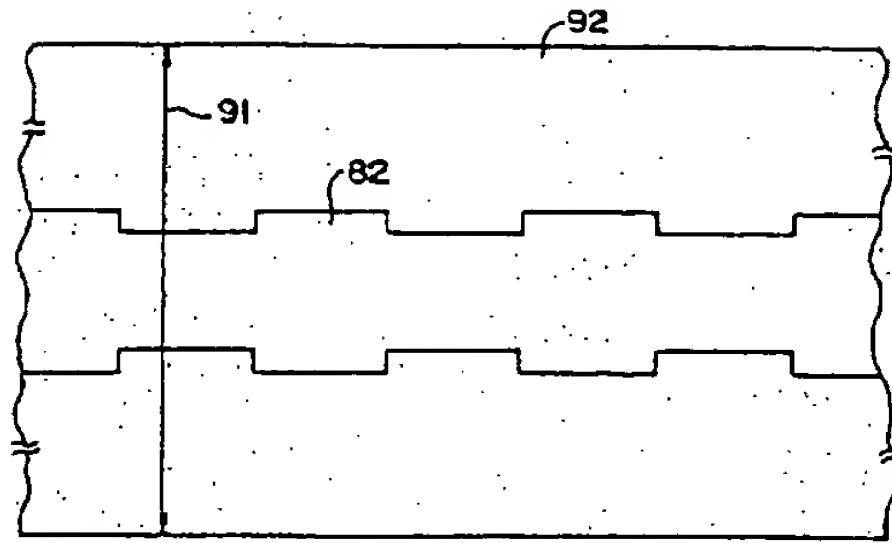
【図12】



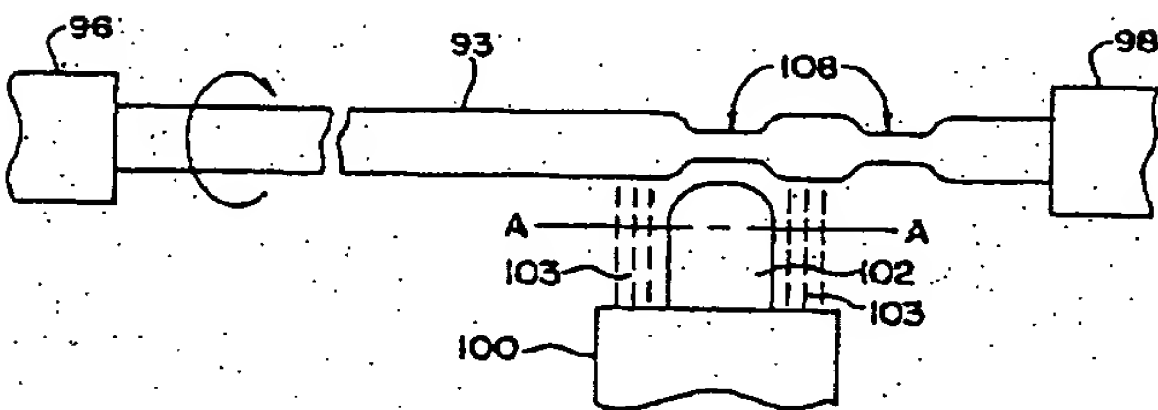
【図 10 A】



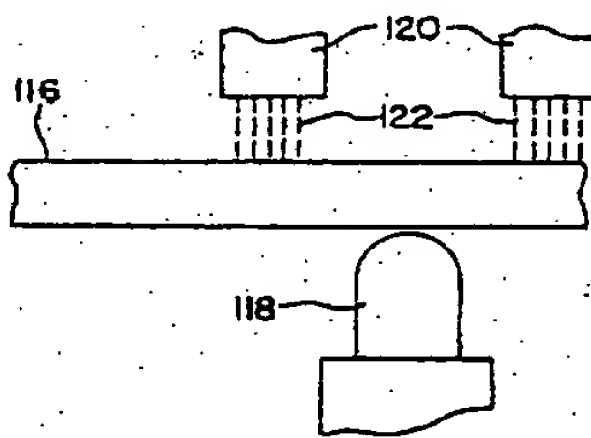
【図 10 D】



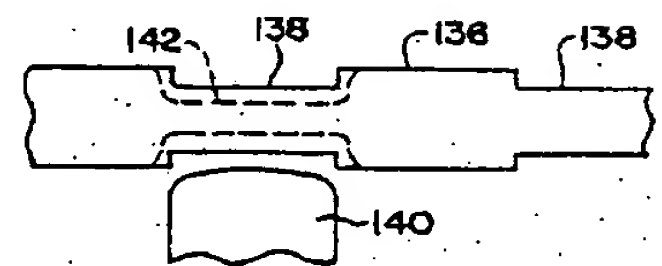
【図 11 A】



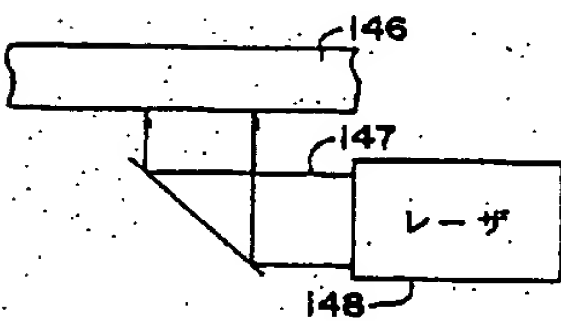
【図 13】



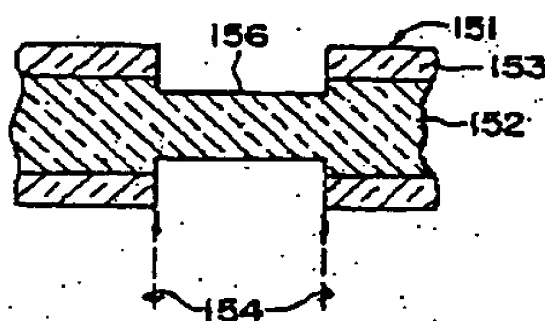
【図 15】



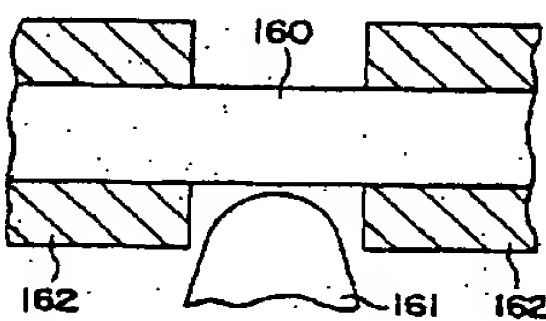
【図 16】



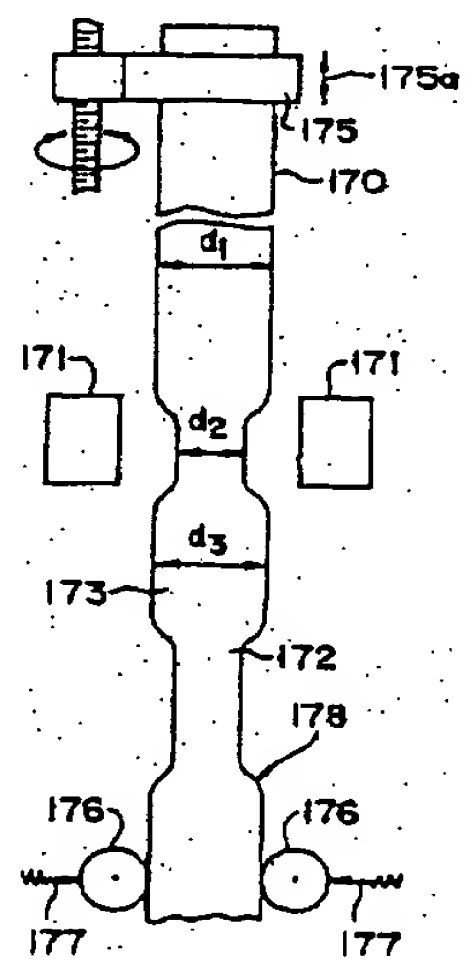
【図 17】



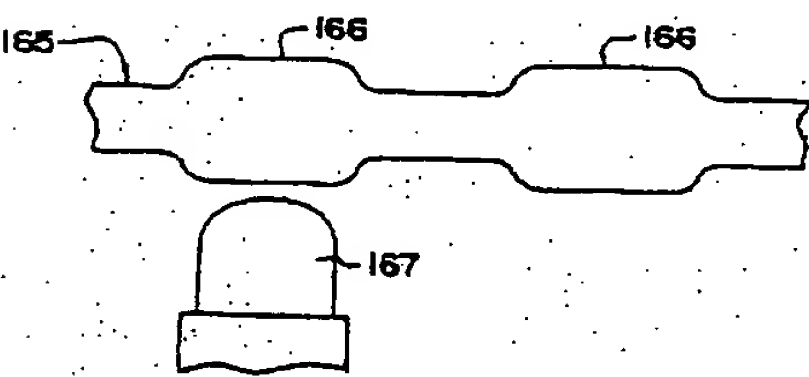
【図 18】



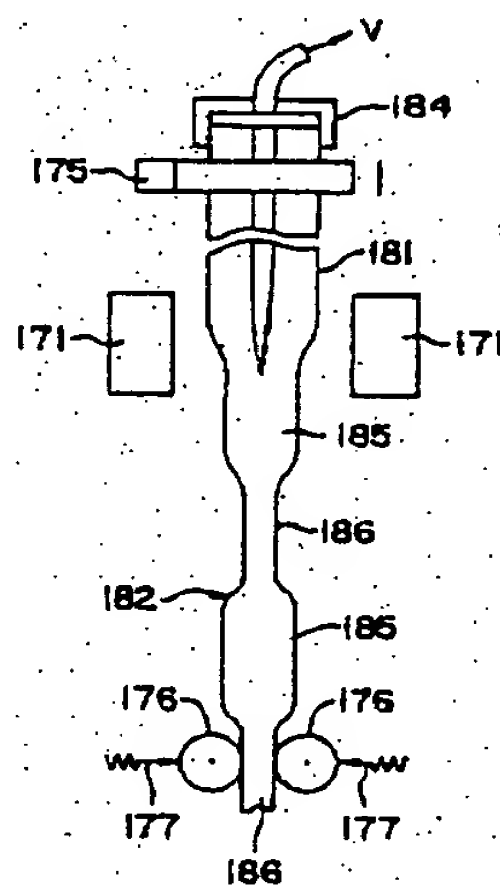
【図 20】



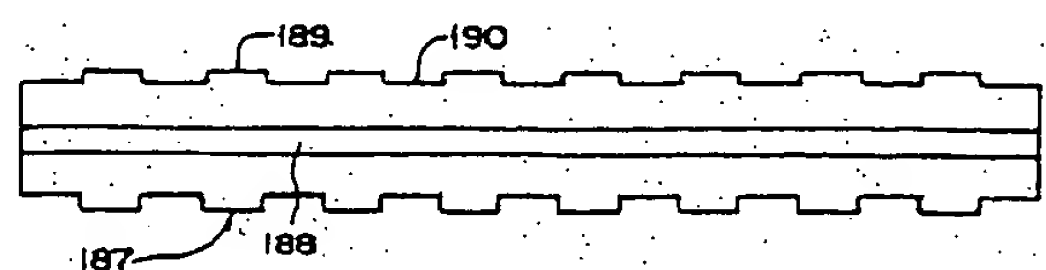
【図 19】



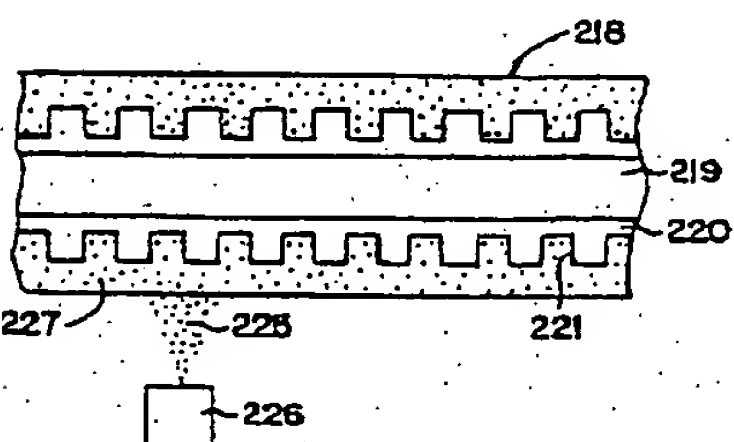
【図 21】



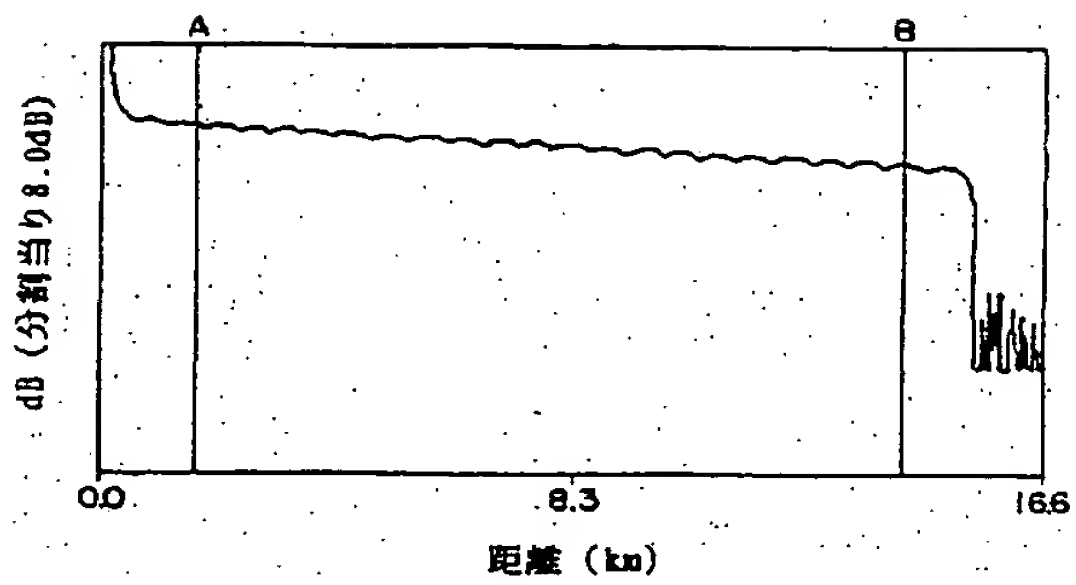
【図 24 A】



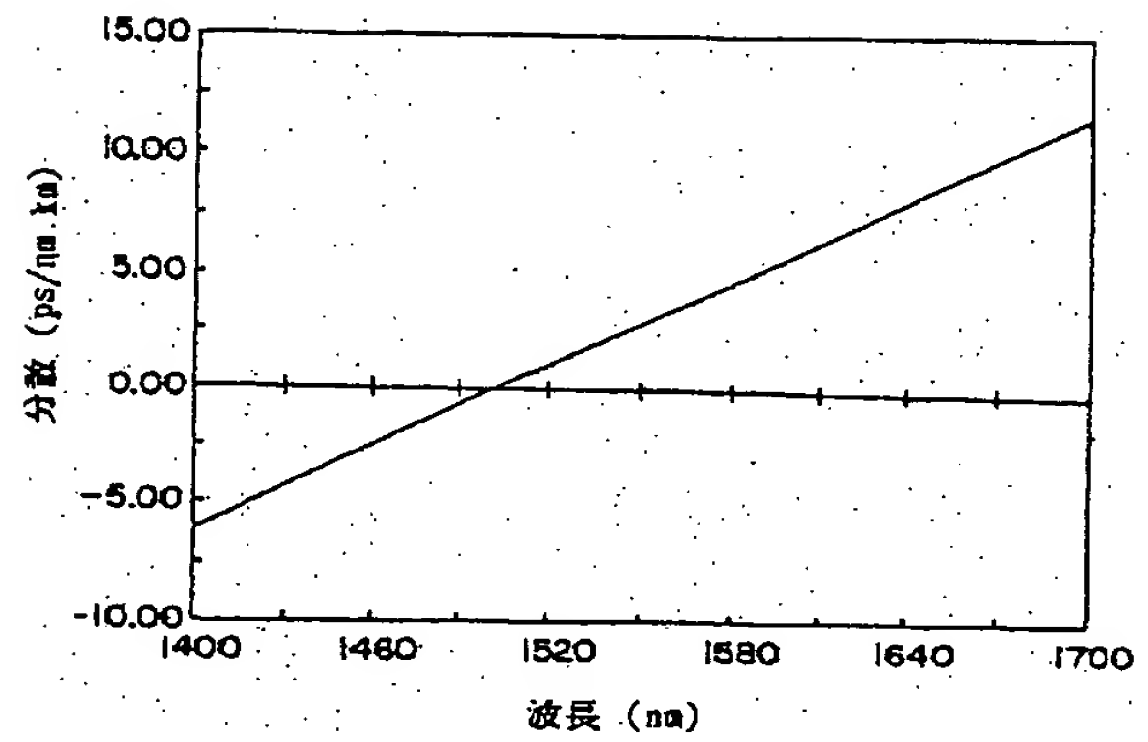
【図 27】



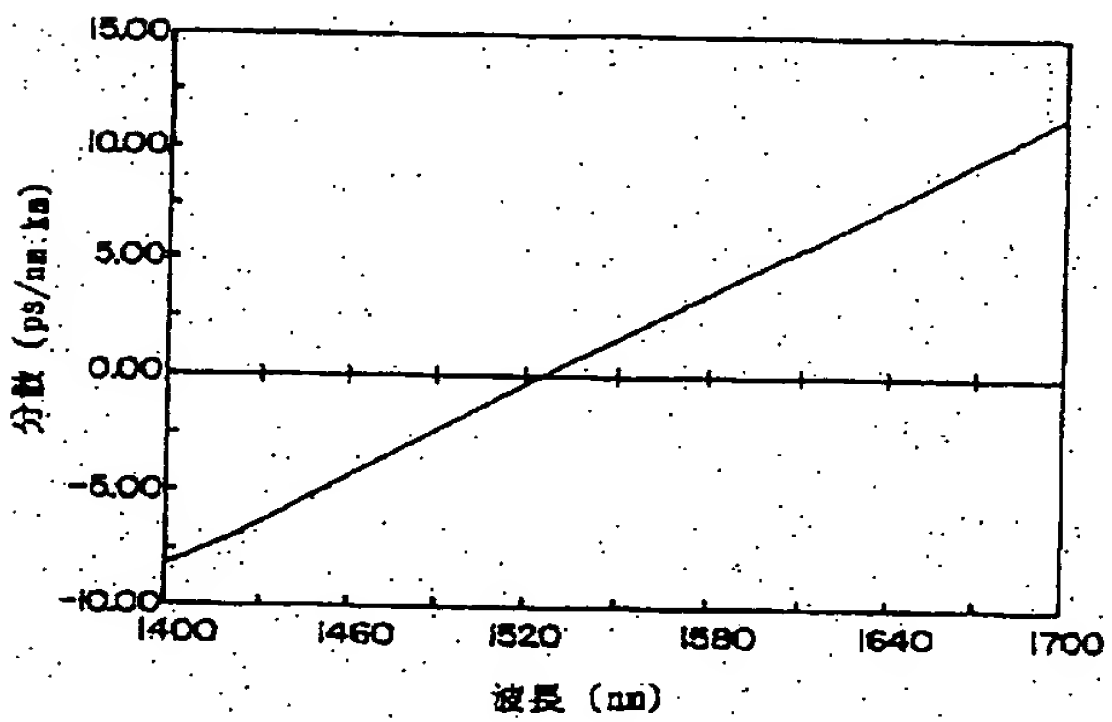
【図22】



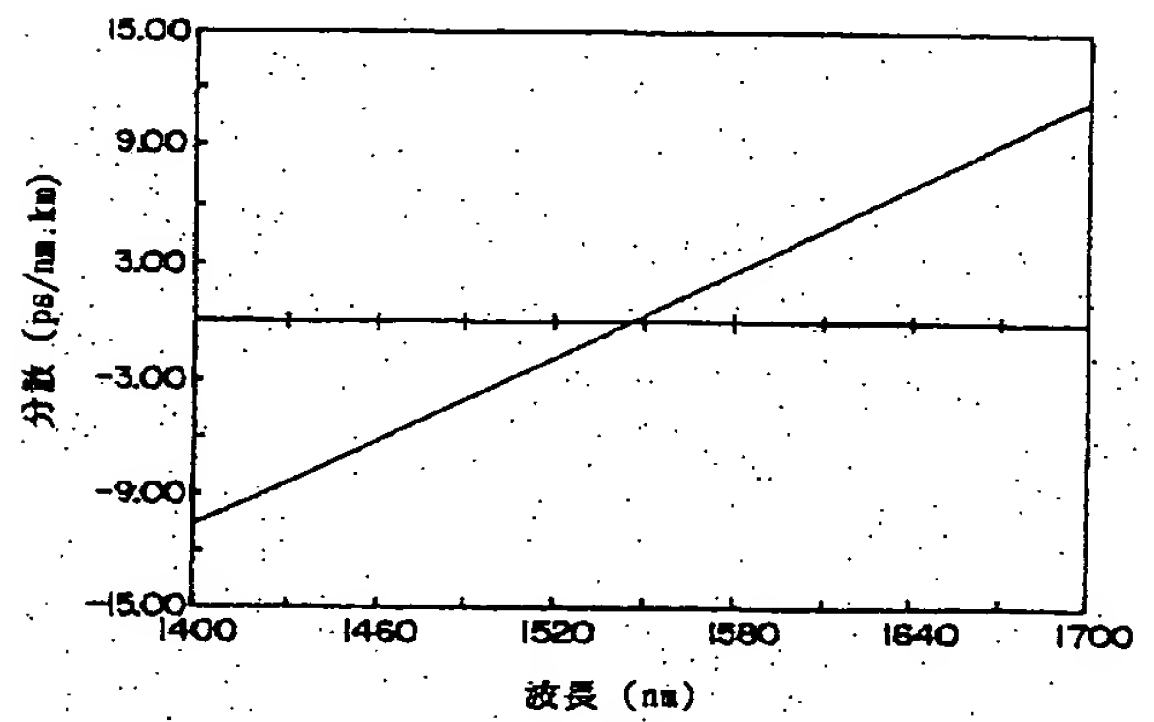
【図23A】



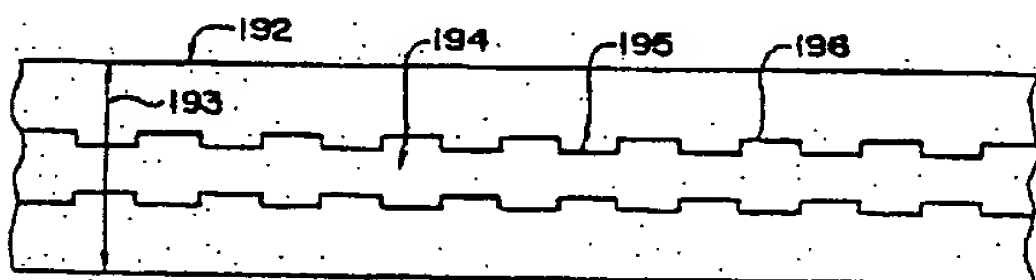
【図23B】



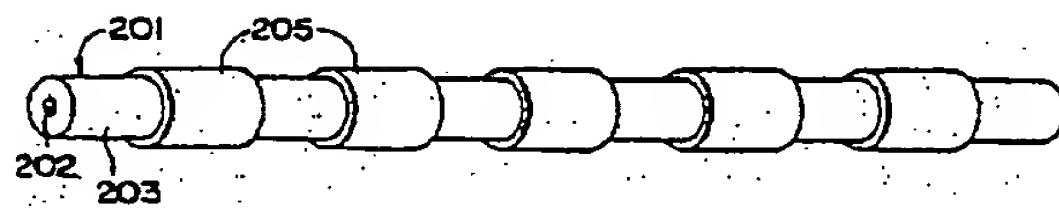
【図23C】



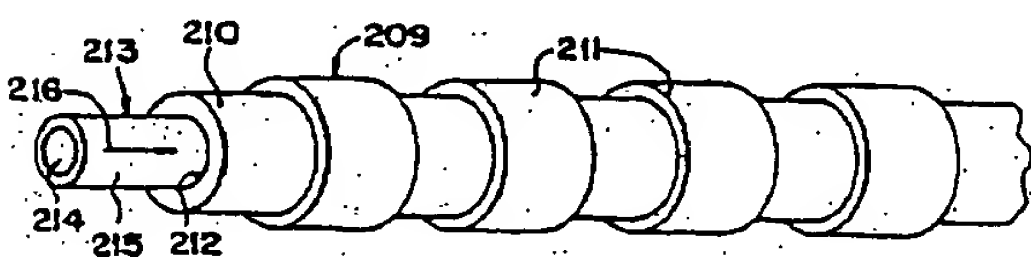
【図24B】



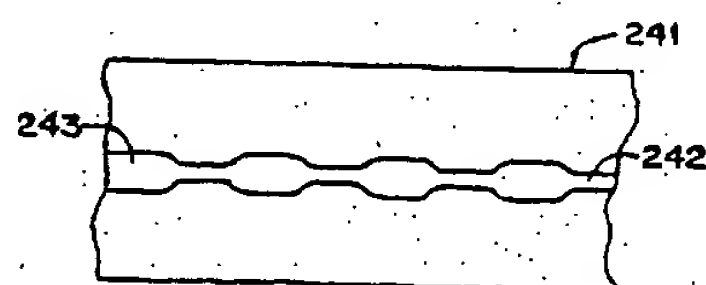
【図25】



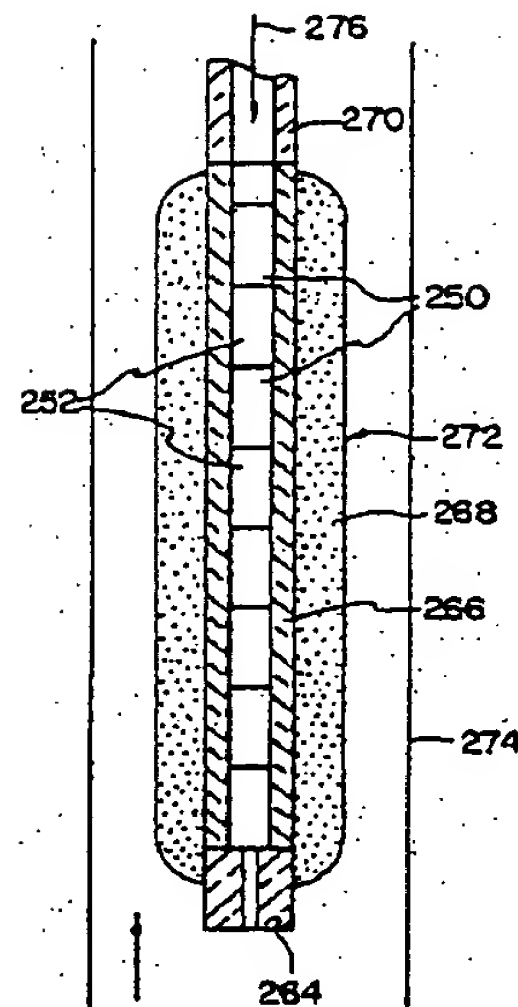
【図26】



【図29】



【図 3 0 A】



フロントページの続き

(72)発明者 ベンカタ アディセシェイアー バーガバ
チュラ

アメリカ合衆国ニューヨーク州14814、ビ
ッグ フラッツ、オーチャード ドライブ
29

(72)発明者 ピーター クリストファー ジョーンズ
アメリカ合衆国ノースカロライナ州28403、
ウilmington、ウィッジェン ドライブ
5409

(72)発明者 ドナルド ブルース ケック
アメリカ合衆国ニューヨーク州14814、ビ
ッグ フラッツ、チェッカーズ サークル
(番地なし)

(72)発明者 ヤンミン リウ

アメリカ合衆国ニューヨーク州14845、ホ
ースヘッズ、グレンデール ドライブ 41

(72)発明者 ロバート アダム モダビス

アメリカ合衆国ニューヨーク州14870、ペ
インテッド ポスト、テイラー ストリー
ト 14

(72)発明者 アラン ジョン モロウ

アメリカ合衆国ニューヨーク州14908、エ
ルマイラ、ウエスト ヒル ロード 2600

(72)発明者 マーク アンドルー ニューハウス

アメリカ合衆国ニューヨーク州14830、コ
ーニング、ワタウガ アベニュー 225

(72)発明者 ダニエル アロイシウス ノラン

アメリカ合衆国ニューヨーク州14830、コ
ーニング、スカイライン ドライブ 28